Forêts Canada Forestry Canada

Lignes directrices pour l'inventaire de la biomasse forestière

A.H. Aldred et I.S. Alemdag

Rapport d'information PI-X-77F
Institut forestier national de Petawawa
Forêt Canada

IFNP

ENFOR

INSTITUT FORESTIER NATIONAL DE PETAWAWA

Le mandat de l'Institut forestier national de Petawawa (IFNP), comme celui des autres établissements de Forêts Canada, est de promouvoir une meilleure gestion et une utilisation plus rationnelle des ressources forestières du Canada, pour le bien économique et social de tous les Canadiens. Les objectifs des programmes menés à l'Institut appuient ce mandat à travers la découverte, le développement, la démonstration, l'application et le transfert des innovations. En tant qu'institut national, il doit s'attacher à des problèmes qui débordent le cadre régional ou qui nécessitent des compétences particulières de même qu'un équipement non disponible aux installations régionales de Forêts Canada. La plupart du temps, les recherches sont effectuées en étroite collaboration avec le personnel des centres régionaux, des services forestiers des provinces et de l'industrie forestière.

Les travaux de recherche et les services techniques de l'Institut sont regroupés autour de cinq principales activités:

GÉNÉTIQUE FORESTIÈRE ET BIOTECHNOLOGIE — Ce programme encadre des études sur la génétique forestière, la microbiologie, la micropropagation, la génétique moléculaire et la recherche sur les semences. Il comprend également les services à là clientèle et la banque de semences du Centre national de semences forestières. Lié à plusieurs organismes internationaux, ce centre existe depuis longtemps.

SYSTÈMES D'AMÉNAGEMENT FORESTIER — Ce programme intègre en recherche et développement des opérations concernant les incendies de forêt, la télédétection, la météorologie, la modélisation, la croissance, la récolte et le relevé des insectes et des maladies des arbres (RIMA). Il permet ainsi l'élaboration et la démonstration de systèmes d'aménagement forestier.

STATISTIQUES NATIONALES SUR LES RESSOURCES FORESTIÈRES — Ce programme fournit les renseignements biologiques, techniques et socio-économiques sur les ressources forestières du Canada. Il vise le développement des bases de données et l'établissement de nouveaux logiciels et bases de données pour aider à l'élaboration des politiques forestières. Le Programme d'inventaire forestier recueille l'information sur les forêts au niveau national, maintient le Système sur les ressources forestières canadiennes et prépare l'inventaire des forêts du Canada.

COMMUNICATIONS — Ce programme regroupe les services offerts par la bibliothèque, les travaux touchant la sensibilisation du public, les renseignements, la rédaction-révision et les publications. L'Institut reçoit plus de 20 000 visiteurs chaque année. Le Centre d'accueil, des visites autoguidées et un programme éducatif complet sont ouverts à tous. C'est à l'IFNP que l'on trouve l'entrepôt et le centre de distribution national de toutes les publications scientifiques de Forêts Canada.

LA FORÊT EXPÉRIMENTALE — Outre des peuplements naturels où l'on applique divers traitements dans le cadre des plans de recherche en sylviculture, la Forêt de Petawawa, mesurant 100 km^2, comprend de vastes superficies de plantations âgées de plus de 60 ans. Les plantations expérimentales livrent des données sur la croissance et la récolte à la suite des expériences de culture. Elles fournissent aussi du matériel génétique dont le lignage est répertorié et qui se révèlent de plus en plus utiles pour les études sur la micropropagation et la génétique moléculaire. C'est un lieu par excellence pour mettre à l'essai des stratégies d'aménagement forestier à court et à long termes.

LIGNES DIRECTRICES POUR L'INVENTAIRE DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE

A.H. Aldred et I.S. Alemdag

Rapport d'information PI-X-77F
Institut forestier national de Petawawa
Forêt Canada
1988

90-02800/

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada, 1989
N° de catalogue Fo46-11/77-1988F
ISBN 0-662-95226-X
ISSN 0228-0736
Imprimé au Canada

Il est possible d'obtenir sans frais des exemplaires de cette publication auprès de :

Forêts Canada
Centre d'information technique et de distribution
Institut forestier national de Petawawa
Chalk River (Ontario)
K0J 1J0

Téléphone : 613-589-2880

Des copies ou des microfiches de cette publication sont en vente à l'adresse suivante :

Micromédia Ltée
Place du Portage
165, rue Hôtel-de-Ville
Hull (Québec)
J8X 3X2

This publication is also available in English under the title **Guidelines for forest biomass inventory.**

Table des matières

v Listes des tableaux

vi Listes des figures

vii Avant-propos

ix Résumé/Abstract

1 I. Introduction

5 II. Relevé de données pour établir les équations de la biomasse de l'arbre

5 1. Variables de biomasse utilisées dans l'inventaire forestier

5 a. Mesures de biomasse forestière
7 b. Variables de l'arbre pour l'estimation de la biomasse

7 2. Sélection d'arbres échantillons

8 a. Règles d'échantillonnage
9 b. Efficacité de l'échantillonnage
10 c. Méthode d'échantillonnage

11 3. Méthodes appliquées sur le terrain et en laboratoire

12 a. Travaux de terrain sur la placette-échantillon
13 b. Travaux de terrain sur l'arbre-échantillon
20 c. Travaux de laboratoire

21 4. Calculs

21 a. Calculs de la masse
22 b. Calculs de la densité de base du bois
22 c. Calculs du volume

27 III. Équations de la biomasse de l'arbre

27 1. Rôle des équations de la biomasse de l'arbre

28 2. Propriétés des équations de la biomasse de l'arbre

28 a. Fondements géométriques
30 b. Hypothèses de régression
34 c. Exactitude
35 d. Additivité

36 3. Évaluation des équations utilisées couramment

37 4. Évaluation des équations existantes

39 5. Construction de nouvelles équations

40 6. Intégration des normes de qualité marchande

43 7. Solutions de rechange pour les équations de l'arbre

43 a. Conversions de volume d'arbre
44 b. Conversions de volume de peuplements

45 8. Tableaux auxiliaires

45 a. Tableaux locaux et uniformisés de biomasse
47 b. Tableaux de proportions des composantes de l'arbre
47 c. Rapports masse anhydre/masse verte
47 d. Densité de base du bois

49 IV. Application des équations de la biomasse à l'inventaire de biomasse forestière

50 1. Résumé des méthodes actuelles d'inventaire forestier volumétrique au Canada

50 a. Objectifs
50 b. Cartes de base
50 c. Interpétation des photographies
50 d. Échantillonnage forestier
52 e. Achèvement des travaux cartographiques
52 f. Construction d'équations
53 g. Compilation

55 2. Adaptation des équations de la biomasse de l'arbre aux inventaires volumétriques existants

60 3. Incorporation de l'estimation de la biomasse dans les nouveaux inventaires forestiers

60 a. Échantillonnage sur le terrain
61 b. Construction d'équations
61 c. Compilation

61 4. Conversion des données volumétriques existantes en biomasse

61 a. Principe de conversion
62 b. Application des facteurs de conversion à l'inventaire forestier
63 c. Méthode recommandée

66 5. Ajustements pour les données manquantes

66 a. Exclusions des petits arbres
69 b. Exclusions des essences non marchandes
69 c. Exclusion des composantes non marchandes

69 6. Résumé

71 Références

75 Annexe A: Glossaire
85 Annexe B: Normes de mesurage et équipement recommandé
91 Annexe C: Codes des essences
97 Annexe D: Détermination de la densité du bois
101 Annexe E: Formulaires à utiliser sur le terrain et au laboratoire pour enregistrer les données (exemples)
111 Annexe F: Références aux équations de biomasse construites dans le cadre de l'ENFOR

Listes des tableaux

24 1a. Exemple d'un tableau récapitulatif (préparé par l'ordinateur) des données sur un arbre individuel
25 1b. Exemple d'un tableau de contrôle (préparé par l'ordinateur)
36 2. Equations de la biomasse de l'arbre entier ou de ses composantes utilisées couramment
43 3. Biomasse des composantes après la conversion du volume total du bois de tige en masse anhydre
44 4. Biomasse des composantes après la conversion du volume de bois marchand de tige en masse anhydre
46 5. Tableau de biomasse de l'arbre entier/peuplement pour un type de couvert forestier d'épinettes/peupliers
46 6. Tableau normalisé de biomasse d'après l'équation de l'arbre entier (pin gris) d'Alemdag (1983)
52 7. Liste partielle des données sur les attributs du peuplement apparaissant à la figure 10
54 8. Fiche de caractéristiques du peuplement forestier
54 9. Fiche de caractéristiques de la placette
54 10. Fiche de données sur l'arbre
55 11. Coefficients de la formule de cubage total de la tige
56 12. Fiche de strates
56 13. Tableau de peuplement pour la strate I
56 14. Tableau de stock pour la strate I
57 15. Coefficient b de l'équation de la biomasse pour l'essence ou les composantes
57 16. Fiche de données sur l'arbre
57 17. Fiche de caractéristiques de la placette
59 18. Fiche de strate
59 19. Tableau de peuplement pour la strate II
59 20. Tableau de biomasse pour la strate II
64 21. Répartition des strates par essence
64 22. Densités de base du bois de tige
64 23. Biomasse des composantes de l'arbre en pourcentage de la biomasse du bois de tige
64 24. Conversion du volume total de la tige en masse anhydre totale
64 25. Biomasse des composantes de l'arbre (tonnes)
65 26. Tableau de peuplement pour la population échantillonnées
65 27. Calcul de la biomasse de l'arbre entier
67 28. Répartition de fréquence et de biomasse du bois de tige pour trois peuplements

Listes des figures

4 1. Composantes de l'arbre utilisées pour la mesure de la biomasse
6 2. Variables de l'arbre utilisées pour l'estimation de la biomasse
15 3a. Instruction schématique pour les diamètres mesurés et les disques échantillons prélevés sur les arbres et arbustes marchands et non marchands
16 3b. Description de ce qui paraît à la Figure 3a
18 4. Une façon d'arranger le tensiomètre sur le terrain
31 5. Trois modèles de la biomasse des arbres entiers ajustés pour le diamètre D de l'arbre. Les modèles en haut et au milieu de la page produisent des résultats irraisonnés à moins de 10 cm de D; le modèle au bas de la page est moins précis, mais produit de meilleurs résultats à moins de 10 cm
33 6a. Modèle linéaire ajusté pour les données non linéaires de la biomasse de l'arbre
33 6b. Diagramme des erreurs résiduelles autour de la ligne de régression montrant l'effet de la non linéarité
34 7. Histogramme approximatif de la distribution normale de l'erreur résiduelle autour de la régression. Le modèle parabolique (décrit en haut de la figure 5) fut utilisé
38 8. Utilisation de la courbe des résidus pour déceler les anomalies du modèle. La ligne solide horizontale représente la ligne de régression et les lignes hachurées; ±1 écart-type des erreurs résiduelles: (a) cas normal, (b) biais positif, (c) changement de la taille des résidus, correspondant à la grandeur de l'arbre, (d) non-linearité, (e) manque de précision
42 9. Diagramme des limites déterminant la définition de la partie marchande d'un arbre: diamètre minimum avec écorce à hauteur de poitrine, hauteur de souche, diamètre minimum du fin bout sans écorce, hauteur marchande et la longueur de grume minimum
51 10. Exemple d'une partie d'une carte typologique ordinaire
53 11. Carte forestière
68 12. Exemple de la distribution de fréquence des arbres dans un peuplement par classes de diamètre
68 13. Distribution de fréquence pour trois peuplements par classes de diamètre: le peuplement modèle à la figure 12, et deux peuplements ayant une structure différente

AVANT-PROPOS

ENFOR est l'acronyme qui désigne le programme fédéral de recherche et de développement en matière d'Énergie de la Forêt. Il vise à obtenir les connaissance et les compétences techniques propres à accroître considérablement, à moyen et à long termes, l'apport de la biomasse forestière à la production énergétique primaire de notre pays. Il fait partie d'une initiative fédérale très importante, destinée à promouvoir la mise en valeur et l'utilisation des énergies renouvelables afin de réduire la dépendance du pétrole et d'autres sources d'énergie non renouvelables.

Dans le cadre de l'ENFOR, le ministère des Forêts est chargé d'une composante intitulée "Programme de la production de la biomasse" qui s'occupe des aspects forestiers comme l'inventaire, la récolte, la sylviculture et les impacts environnementaux. (L'autre composante, la Conversion de la biomasse porte sur la technologie de la transformation de la biomasse en énergie ou en combustibles et elle est gérée par la Direction des énergies renouvelables du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources.) Bien que la plupart des projets de production de la biomasse aient été conçus par des scientifiques de Forêts Canada en fonction des objectifs de l'ENFOR, ils sont réalisés à contrat par des experts-conseils et des chercheurs en foresterie. Les contrats sont accordés selon les procédures d'appels d'offres pour travaux scientifiques du ministère des Approvisionnements et Services. Pour de plus amples renseignements sur le Programme de la production de la biomasse de l'ENFOR, veuillez vous adresser au

Secrétariat d'ENFOR
Forêts Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1G5

ou à un laboratoire de recherche du ministère des Forêts.

Ces lignes directrices ont été préparées pour l'Institut forestier national de Petawawa, Forêts Canada (Responsable scientifique: I.S. Alemdag) par Dendron Resource Surveys Ltd.

RÉSUMÉ

Ce manuel décrit des méthodes qui permettent d'inclure une évaluation de la biomasse forestière dans un inventaire des forêts. Ces méthodes englobent la prise de données sur place, l'analyse en laboratoire, l'élaboration d'équations pour la biomasse des arbres individuels et l'application des équations à de nouveaux inventaires en cours ou envisagés.

ABSTRACT

The manual describes procedures for including forest biomass assessment in forest inventory. The procedures cover the collection of data in the field, laboratory analysis, development of single-tree biomass equations, and application of the equations to both current and proposed new inventories.

LIGNES DIRECTRICES POUR L'INVENTAIRE DE LA BIOMASSE FORESTIÈRE

I. INTRODUCTION

Le but de l'inventaire forestier, y compris l'évaluation des réserves de biomasse forestière, est de fournir à l'aménagiste forestier ainsi qu'à d'autres personnes qui étudient la forêt ou s'en préoccupent, un aperçu précis non seulement de la quantité de biomasse existante, mais aussi de la qualité et de la répartition des ressources dans un secteur déterminé. Fréquemment, on utilise des cartes, des tableaux et des statistiques pour obtenir une vue d'ensemble. Cette information est fondée sur des données arboricoles détaillées concernant l'essence, les classes de dimension, l'âge, la productivité potentielle, la croissance et le rendement actuels, le matériel relatif et l'état de la ressource. On peut y inclure la relation qui existe entre la forêt et la physiographie, les sols, l'eau ainsi que d'autres communautés végétales et animales. Vue d'ensemble des réserves actuelles, les inventaires forestiers constituent, en outre, une base de référence en fonction de laquelle on peut évaluer les changements tant naturels qu'anthropiques relatifs à la régénération, à la croissance, et à l'amortissement par épuisement des ressources ou autres. Lorsque l'homme intervient, le problème de l'accessibilité ainsi que de nombreuses questions économiques et sociales passent au premier plan, particulièrement celles qui concernent l'utilisation et la gestion de la ressource. Dans ce contexte, on a besoin d'une base de référence pour prévoir les approvisionnements, modéler le développement des peuplements forestiers et étudier les perspectives et les conséquences de diverses options de gestion ou d'autres méthodes.

Les principales quantités utilisées pour exprimer l'importance des réserves reflètent la valeur actuelle et l'utilisation prévue de la forêt. Il n'y a pas si longtemps, les quantités exprimées en volume de bois prédominaient en raison de l'utilisation de la tige pour les produits forestiers traditionnels comme le bois débité, le contreplaqué, le perchis, les pilotis, la pâte et le papier, etc. La valeur de ces derniers est étroitement liée au volume. Au cours de la dernière décennie cependant, la rareté croissante des arbres accessibles de haute qualité a conduit à une utilisation plus complète de l'arbre, à l'emploi de composantes autres que le fût, et à l'utilisation des petits arbres, des essences qui n'étaient pas commercialisées auparavant, et des résidus de bois. De même, bien que le volume de la tige principale soit assez facile à mesurer, il est à peu près impossible d'obtenir celui d'une multitude de branches, de rameaux et de feuilles; il est plus pratique de mesurer le poids d'un tel matériel. Il est plus important également de mesurer le poids lorsqu'on s'intéresse plus particulièrement à l'utilisation des copeaux, des particules et de la pâte mécanique pour la fabrication de panneaux composites, d'autres produits ou de combustibles. Au cours de la même période, il y a eu des pénuries de pétrole qui ont donné l'idée d'utiliser la biomasse comme source énergétique de rechange. Ces tendances ont encore encouragé la prise en considération du poids de l'arbre entier et de ses composantes, que l'on désigne sous le terme de masse ou de biomasse dans ces lignes directrices, dans les inventaires forestiers volumétriques. Ainsi, on a dû mettre au point et adapter aux pratiques actuelles d'inventaire, les méthodes et les techniques pour inventorier la biomasse forestière. (Bonnor [1987] offre une vue d'ensemble de l'inventaire de la biomasse forestière, y compris un bref historique du besoin d'information sur la biomasse.)

Au Canada, ces considérations ont mené récemment à l'élaboration et à l'essai d'un grand nombre de nouvelles méthodes au moyen des études effectuées dans le cadre du programme ENFOR, financé par le gouvernement fédéral. Ces programmes et d'autres de même nature visaient surtout la collecte de données de base sur la biomasse de l'arbre, l'élaboration d'équations concernant les arbres et les composantes d'arbres appartenant à des essences déterminées, ainsi que l'utilisation des équations dans un inventaire forestier traditionnel. Les champs d'application des équations comprenaient la conversion des inventaires existants, l'évaluation de la biomasse au-delà des zones actuellement inventoriées et l'échantillonnage d'essences, de classes de dimension et de composantes d'arbres non commerciales.

Au cours des premières phases du programme ENFOR, les instructions, les lignes directrices ou les normes sur lesquelles les études de biomasse pouvaient s'appuyer étaient encore rares. Bien qu'on ait rédigé des manuels donnant des lignes directrices et visant à une normalisation des méthodes dans le cadre de l'ENFOR, comme celui d'Alemdag (1980) traitant des méthodes sur le terrain et en laboratoire, le désir ou l'occasion de promouvoir ou de mettre en application la normalisation ne se sont pas manifestés. Par conséquent, en l'absence d'une série cohérente de définitions, de méthodes et de normes, il était fréquent que les résultats des programmes, bien que d'une grande valeur technique, ne puissent pas être comparés en vue de leur intégration à un dossier d'information unifié. Ainsi, il était impossible à ceux qui désiraient planifier ou entreprendre de nouvelles initiatives ou projets opérationnels relatifs à la biomasse de s'orienter à l'aide d'un repère pratique reconnu.

L'objectif de ces lignes directrices est de considérer un grand nombre des réalisations de l'ENFOR, d'en comparer les résultats avec ceux des projets nord-américains semblables et d'établir une série uniforme de définitions, de normes et de méthodes servant à effectuer des inventaires de biomasse forestière. Les définitions, les normes, les méthodes, traitées dans ces lignes directrices visent l'aspect pratique ainsi que la simplicité et tiennent compte des pratiques actuelles de l'inventaire forestier.

Les sujets sont limités aux applications servant à l'inventaire de la biomasse forestière et ne traitent pas de secteurs connexes comme le cycle des éléments nutritifs, les questions écologiques ou environnementales ni la technologie de conversion de la biomasse, bien que les méthodes ou les résultats d'inventaire puissent être utiles aux travaux dans ces secteurs. Le manuel traite de plans d'échantillonnage, qui déterminent le lieu de sélection des échantillons, la quantité de données à recueillir et la façon d'utiliser les données facilement accessibles pour augmenter l'efficacité de l'échantillonnage. Le manuel examine aussi les méthodes de mesure et d'enregistrement des données de base sur le terrain et en laboratoire, l'élaboration d'équations servant à évaluer les quantités de biomasse à partir de variables arboricoles faciles à mesurer et l'application de modèles d'estimation de la biomasse à l'inventaire forestier. Il a fallu reconnaître, en particulier dans l'utilisation des modèles d'estimation, la nécessité d'une compatibilité avec la méthodologie de l'inventaire volumétrique. Dans la plupart des cas, les méthodes sont comparables à leur homologue volumétrique afin de rendre les applications aussi simples et directes que possible.

Les tentatives de normalisation sont destinées à aider le praticien à se tenir au courant des méthodes employées par ses collègues. La normalisation doit aussi faciliter l'échange d'information, ainsi que la comparaison et l'utilisation des données d'inventaire dans d'autres domaines où l'on étudie des problèmes communs. Il faut réduire le chevauchement des tâches et encourager l'élaboration des banques de données à tout usage. Par exemple, la normalisation constituera la structure de base pour la production d'une série d'équations nationales de biomasse forestière avec lesquelles les praticiens pourraient se familiariser et utiliser avec confiance. Des normes uniformisées faciliteront considérablement les efforts coopératifs en vue de produire, par exemple, des statistiques nationales sur la biomasse comme on l'a vu récemment au Canada, grâce à la collaboration des provinces, des territoires et du gouvernement fédéral (Bonnor, 1985).

L'approche utilisée dans ce manuel consiste à fournir une description générale de la mesure de la biomasse, y compris sa relation avec d'autres problèmes de l'inventaire. La description comprend, au besoin, des données de base, des définitions de termes, des équations, des renvois, des exemples et des considérations théoriques. L'étape descriptive est suivie d'une série de méthodes par échelons, de listes de vérification, etc., dont le praticien pourrait faire usage en effectuant un inventaire de la biomasse.

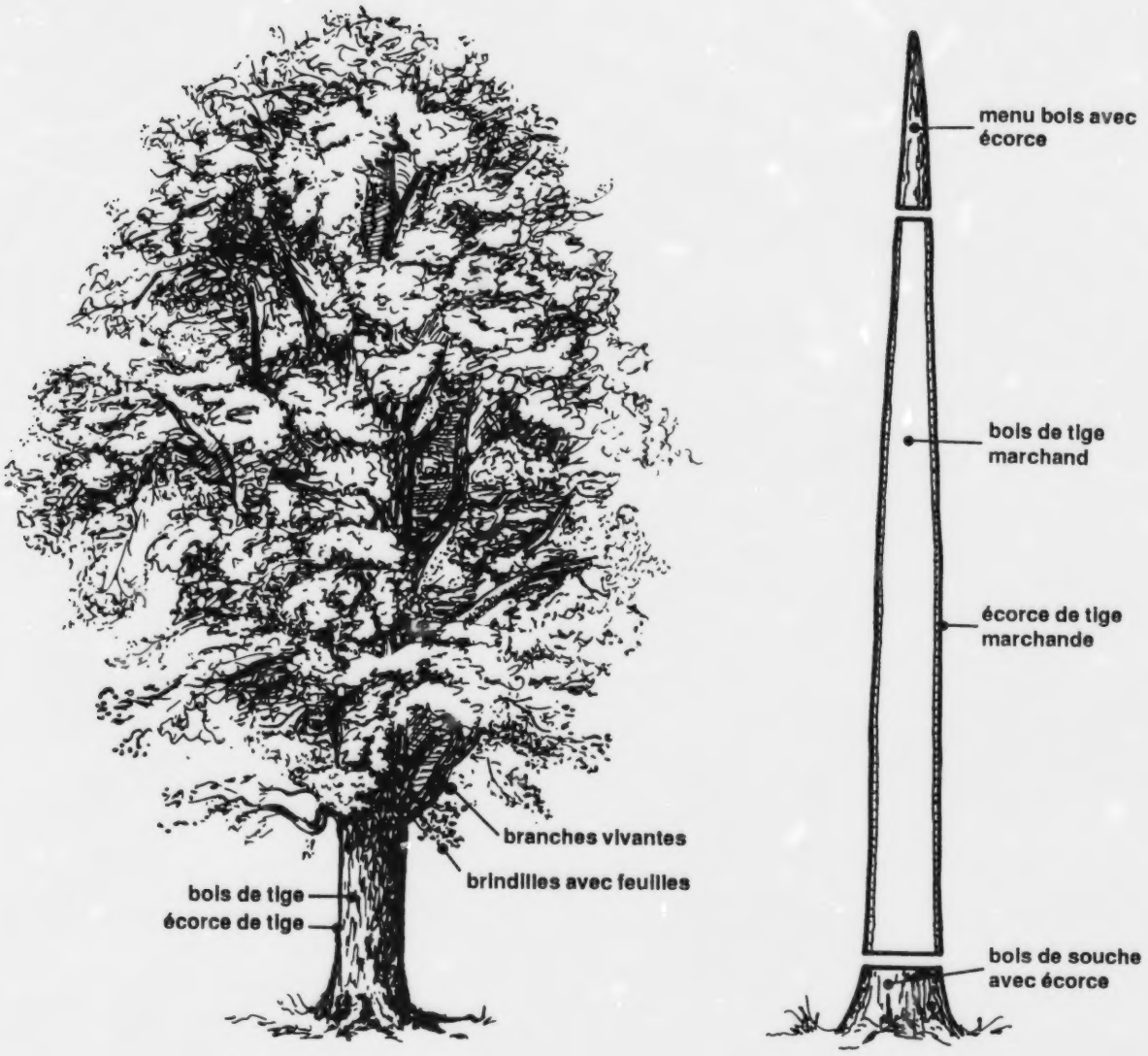

Figure 1. Composantes de l'arbre utilisées pour la mesure de la biomasse.

II. RELEVÉ DE DONNÉES POUR ÉTABLIR LES ÉQUATIONS DE LA BIOMASSE DE L'ARBRE

On définit dans ce chapitre les quantités ainsi que les principales variables arboricoles utilisées pour évaluer la biomasse forestière. On décrit aussi en détail les méthodes d'échantillonnage et de traitement de telles données sur le terrain et en laboratoire. La collecte et la préparation des données conduisent à l'établissement des équations de l'arbre (chapitre III) et à leur application à l'inventaire forestier (chapitre IV).

1. Variables de biomasse utilisées dans l'inventaire forestier

Il existe deux approches pour évaluer la biomasse dans les relevés d'inventaire. La première comporte une mesure directe de la masse (M) d'un arbre ou de ses composantes et l'établissement des équations de l'arbre pour des essences déterminées. Les équations utilisent des variables mesurées couramment, comme le diamètre à hauteur de poitrine et la hauteur totale de l'arbre, pour estimer les quantités de biomasse. Cette approche est parallèle à celle des inventaires volumétriques traditionnels qui utilisent le diamètre et la hauteur pour estimer le volume de l'arbre. La seconde approche emploie des facteurs pour convertir le volume de l'arbre ou du peuplement en quantités ou rapports de biomasse afin de dériver des estimations de composantes d'arbre. Les conversions utilisent des facteurs de densité du bois. Bien que les deux approches soient présentées dans les lignes directrices, on insiste davantage sur la première en raison de sa plus grande exactitude et de sa facilité d'adaptation à la plupart des méthodes courantes d'inventaire. L'approche établissant des rapports est généralement réservée aux cas où les données sont absentes, incomplètes ou périmées.

a. Mesures de biomasse forestière

Aux fins de ce manuel, la biomasse forestière ne comprend que la partie aérienne des arbres et des arbustes ligneux vivants. La distinction entre les arbustes ligneux et les petits arbres est fondée sur le genre et l'essence consignés plutôt que sur la taille. En n'utilisant que la dimension comme élément distinctif, on pourrait facilement confondre les semis d'arbre, les jeunes gaules et les arbustes. Les plantes non ligneuses et les végétaux qui n'atteignent pas 0,31 m de haut ont été exclus.

La biomasse forestière peut être exprimée par sa masse verte (MV) ou sa masse anhydre (MA). La masse verte d'un arbre, d'un arbuste ligneux ou de leurs composantes est un échantillon frais ou de matériel en croissance contenant un pourcentage variable d'eau. Il s'agit d'une mesure facile à obtenir au cours des étapes d'échantillonnage avant que les spécimens soient séchés en laboratoire. Certaines méthodes de mesurage, comme la pesée d'un plein camion de grumes, utilisent aussi la masse verte. La masse anhydre désigne la masse d'un arbre, d'un arbuste ligneux, d'une de leurs composantes ou d'un échantillon après un séchage à 105 °C jusqu'à ce que la masse de l'échantillon se stabilise à un niveau constant. Pour exprimer la masse dans les applications d'inventaire, on préfère avoir recours à la «masse anhydre» à cause de la répétabilité (fidélité) de cette mesure et de son lien plus étroit avec le potentiel énergétique. À moins d'indications contraires, les termes de masse ou de biomasse que l'on retrouve dans ce manuel désignent la masse anhydre. La répétabilité désigne le degré d'uniformité de la mesure de biomasse qui est atteint lorsque l'on compare des spécimens appartenant à des arbres distincts ou des résultats obtenus par différents observateurs, instruments ou méthodes. Les annexes A et B présentent des normes de mesure et un glossaire relatifs aux travaux sur le terrain et en laboratoire.

La figure 1 illustre les composantes majeures d'un arbre pour mesurer la biomasse.

La définition des composantes ainsi que des critères de distinctions ont présentés à la section 3 qui porte sur les instructions concernant le travail sur le terrain.

Dans les cas où des normes de qualité marchande sont imposées, la tige est subdivisée en bois de tige marchand, écorce de tige marchande, menu bois avec l'écorce et bois de souche avec l'écorce.

La hauteur de souche normale est habituellement de 0,30 m au-dessus du sol, mais les méthodes décrites ultérieurement, qui servent à établir des équations de qualité marchande, permettent une variation de cette hauteur. Le diamètre marchand est le diamètre minimal ad-

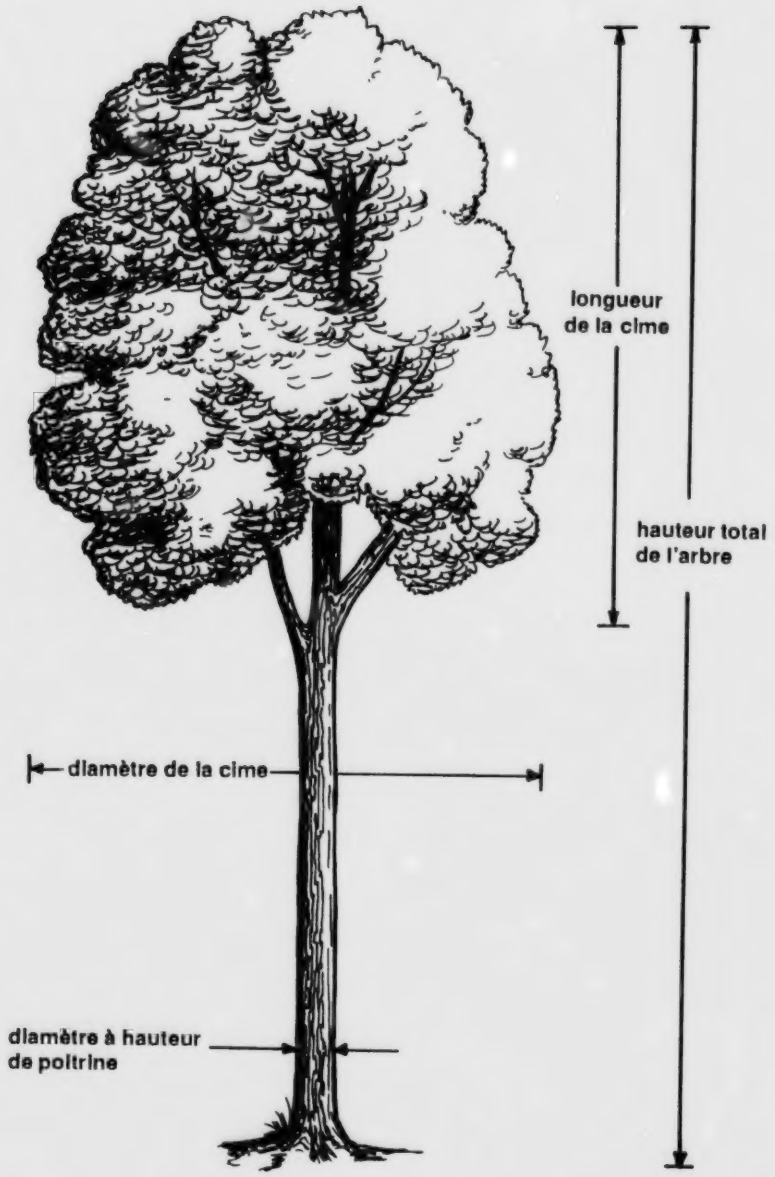

Figure 2. Variables de l'arbre utilisées pour l'estimation de la biomasse.

missible au fin bout (sans écorce) qui varie habituellement entre 7 et 10 cm selon la province, les produits forestiers et d'autres circonstances. La hauteur marchande est la hauteur à partir du sol jusqu'à la limite définie de diamètre marchand. Les normes de qualité marchande varient selon le produit et le degré d'utilisation de l'arbre et devraient, en conséquence, être établies à différents niveaux. Cependant, un grand nombre d'équations et de tableaux de biomasse existants s'appuient sur une norme fixe comme celles qui sont décrites ci-haut. L'application des normes de qualité marchande est présentée à la section 6 du chapitre III. En 1978, Bonnor a dirigé la publication de ces normes qui sont basées sur l'usage et la terminologie de l'inventaire forestier.

b. Variables de l'arbre pour l'estimation de la biomasse

Les variables courantes de l'arbre qui servent à estimer la biomasse sont le diamètre à hauteur de poitrine (D), la hauteur totale de l'arbre (H) et son volume (V). L'âge, la qualité du site, le diamètre, la longueur ou la projection de la cime ainsi que des expressions de la compétition sont employés occasionnellement. Dans ce manuel, le diamètre de l'arbre désigne aussi le diamètre à hauteur de poitrine. Le diamètre à une autre hauteur est toujours spécifié, comme par exemple, un diamètre à une hauteur de souche de 0,30 m. Certaines de ces variables sont illustrées à la figure 2. La variable D désigne de façon plus précise le diamètre d'un arbre avec écorce à une hauteur de 1,30 m au-dessus du sol. La détermination du niveau du sol et le cas d'un terrain en pente sont définis dans le glossaire (annexe A) sous la rubrique «niveau du sol». Le diamètre est la variable la plus fréquemment utilisée dans l'estimation du volume et de la biomasse des arbres parce qu'on peut facilement l'obtenir et établir une corrélation avec la biomasse de l'arbre ou de ses composantes. Le diamètre est habituellement mesuré en centimètres jusqu'au millimètre le plus proche. Cette variable est souvent utilisée seule dans les équations d'un arbre pour estimer la biomasse. On désigne de telles formules des équations de biomasse locale, soit l'équivalent des équations de volume d'un arbre local.

La hauteur totale de l'arbre, qui est la distance verticale à partir du sol jusqu'à l'extrémité de l'arbre, est couramment utilisée avec la variable D dans les équations de biomasse de l'arbre. La hauteur est habituellement mesurée en mètres jusqu'au décimètre le plus proche. Les équations de biomasse de l'arbre qui utilisent D et H sont des équations de biomasse normalisées, analogues aux formules de volume d'arbre normalisées.

Le volume de l'arbre peut servir conjointement avec les facteurs de densité de bois pour estimer la biomasse (Alemdag, 1984b). On peut utiliser les rapports de composantes avec les estimations de biomasse de l'arbre entier ou de la tige pour estimer les composantes. Sauf indication contraire, le volume désigne le volume brut total d'une tige d'arbre exprimé en mètres cubes, habituellement jusqu'aux trois premières décimales. La tige de l'arbre comprend la souche, l'extrémité, le bois et l'écorce, mais exclut les branches et le feuillage. La section 3 examine le cas des arbres fourchus. On aura recours occasionnellement dans ces lignes directrices aux expressions de volume marchand.

Les autres variables arboricoles sont plus rarement utilisées en raison de leur absence possible dans les inventaires traditionnels, des coûts plus élevés de mesure et de leur efficacité réduite généralement dans l'estimation des valeurs de biomasse. Le diamètre, la longueur et la projection de la cime se prêtent aux mesures sur les photographies aériennes à grande échelle et peuvent avoir un rôle spécial à jouer dans l'estimation de la biomasse (Alemdag, 1986). Le manuel est axé sur l'utilisation de D, H et V pour l'estimation des valeurs de biomasse de l'arbre et de ses composantes.

2. Sélection d'arbres échantillons

Le but de la sélection d'échantillons est de choisir des arbres pour l'établissement des équations. Le choix des arbres doit se conformer à une méthode et à des règles d'échantillonnage statistiquement défendables afin de s'assurer que la population visée (une propriété ou superficie forestière définie) est représentée de façon adéquate. Il est essentiel que la sélection tienne compte des principales essences ainsi que d'une gamme de classes de dimension, et qu'on obtienne suffisamment de données arboricoles pour permettre l'établissement des équations fiables. L'efficacité du plan d'échantillonnage et des protocoles de mesurage ainsi que les avantages de l'utilisation de données existantes pour réduire l'effort d'échantillonnage comptent aussi parmi les préoccupations liées à la méthode de sélection.

La fiabilité et l'efficacité des équations dépendent des facteurs qui ont un effet sur l'exactitude des équations. Indépendamment que l'on utilise une seule caractéristique (comme la moyenne de population) ou plusieurs (comme des coefficients d'équation), l'exactitude se mesure à l'importance de l'écart entre les estimations et les valeurs réelles, mais inconnues. Dans le cas d'une équation, l'exactitude peut être liée à la valeur prévue plutôt qu'aux coefficients. Plus l'écart est petit, plus l'estimation est exacte.

Une estimation peut être inexacte pour deux raisons. D'abord il est possible qu'une estimation soit biaisée, ce qui signifie qu'à long terme la valeur estimée est constamment plus élevée ou plus basse d'une certaine quantité. Le biais peut provenir de l'estimateur lui-même. Par exemple, les estimateurs de rapports sont habituellement biaisés. Des méthodes d'échantillonnage incorrectes peuvent aussi être à la source d'un biais, par exemple, lors de l'établissement d'une parcelle-échantillon, on évite toujours les clairières dans la forêt, choisit surtout des peuplements très denses et ne s'éloigne jamais de plus de quelques centaines de mètres des routes. Un biais peut également être causé par des erreurs systématiques dans les méthodes de mesure comme les instruments mal réglés, les gaffes de l'utilisateur et les méthodes incorrectes de consignation ou de calcul. Pour réduire le biais et améliorer l'exactitude, il faut que toutes les sources possibles d'erreurs systématiques soient connues et éliminées. En second lieu, une estimation peut être inexacte à cause des erreurs aléatoires qui, bien qu'elles soient compensées à long terme, peuvent faire dévier considérablement les estimations arboricoles en montant ou en descendant vis à vis des valeurs réelles. Les erreurs aléatoires produisent des estimations inexactes. Une estimation est précise quand l'élément aléatoire de l'erreur est petit. Parfois un degré élevé d'exactitude est synonyme de degré élevé de constance : c'est la qualité d'une mesure qui, répétée un grand nombre de fois, donne des résultats formant une grappe serrée autour de la moyenne. Un manque d'exactitude peut provenir du plan d'échantillonnage (c'est-à-dire de l'estimateur), des échantillons trop petits (par exemple, un nombre trop réduit de placettes), ou des méthodes de mesurage qui manquent d'uniformité. On peut dire enfin que l'exactitude croît avec la taille de l'échantillon, à condition que l'erreur de mesure aléatoire soit limitée et ne surpasse pas l'erreur d'échantillonnage.

Une estimation sera inexacte si un biais ou un manque de précision surviennent seuls. Si la hauteur d'un arbre de 18,6 m est mesurée de façon répétée et que l'on obtienne une moyenne de 14,4 m pour une variation de 13,9 à 14,8 m, les mesures sont assez précises, mais très inexactes en raison de l'importance relative du biais de mesure négatif qui atteint 4,2 m. De même, il se peut que des mesures individuelles irrégulières puissent être obtenues sans biais (lorsqu'elles sont considérées à long terme), mais elles sont très inexactes dans des cas particuliers. On se préoccupe constamment du biais et de l'exactitude en considérant l'efficacité des plans d'échantillonnage et des méthodes de mesurage.

a. Règles d'échantillonnage

Lorsqu'on veut échantillonner une caractéristique d'une population, il est important de suivre quelques règles afin de s'assurer que l'échantillon est représentatif de la population. Si la population est bien représentée, il est possible d'obtenir des estimations valables des caractéristiques requises (par exemple, la masse anhydre moyenne en tonnes de la biomasse forestière par hectare, ou une série de coefficients de régression exprimant la relation entre la masse, le diamètre et la hauteur de l'arbre), et de produire des énoncés statistiquement défendables sur l'exactitude des estimations. Les estimations valables doivent être sans biais. La conformité aux règles d'échantillonnage, la sélection judicieuse des estimateurs, l'élaboration des méthodes de mesurage adéquates, une bonne formation et un contrôle de la qualité sont des facteurs dont il faut tenir compte si l'on veut réduire l'importance du biais.

Les principales règles d'échantillonnage sont les suivantes :

1) La population visée par l'échantillonnage doit être définie de façon précise, c'est-à-dire qu'en foresterie généralement on détermine et on cartographie les limites physiques d'une propriété ou d'une unité et on indique les zones intérieures non forestières comme les plans d'eau.

2) Avant de choisir un échantillon, la population doit être divisée en parties que l'on désigne unités d'échantillonnage. En foresterie, l'unité d'échantillonnage peut être constituée par des arbres individuels

ou, de façon plus pratique, des bouquets d'arbres définis par l'un de nombreux types de parcelles-échantillons à superficie prédéterminée ou points-échantillons.

3) Les unités d'échantillonnage doivent, en principe, couvrir complètement la population et ne pas se recouper entre elles. Aucun élément d'une population ne doit appartenir à plus d'une unité. La liste de toutes les unités possibles forme un cadre d'échantillonnage.

4) Les unités d'échantillonnage doivent présenter une probabilité connue de sélection.

5) Le processus de sélection ne doit être déterminé que par le choix d'un plan valable d'échantillonnage qui établit les probabilités de sélection ainsi que la distribution et l'intensité de l'échantillonnage, et fixe les règles pour la méthode de sélection aléatoire, la compilation des estimations ainsi que les énoncés de fiabilité qui les accompagnent.

Lorsqu'on respecte ces règles en ayant recours aux services d'un estimateur non biaisé (ou un estimateur dont les biais connus peuvent être corrigés) et que les méthodes de mesure et de calcul ne contiennent pas d'erreurs systématiques, il est alors possible d'obtenir des estimations valables et statistiquement défendables. En pratique toutefois, et particulièrement dans le cas des forêts où l'accès peut être difficile et coûteux, il faut souvent assouplir les règles d'échantillonnage. Dans certains cas, des méthodes de pondération qui modifient la probabilité de sélection peuvent être imposées sans violer aucunement les règles. Dans d'autres cas, comme les changements que l'on effectue pour s'assurer de l'inclusion des conditions rares (habituellement les extrêmes des classes de dimension), il se peut qu'on enfreigne les règles. Cependant, avec un bon jugement, on peut prendre certaines libertés sans compromettre gravement les résultats. L'utilisateur doit être conscient des écarts et des risques possibles. Le chapitre d'introduction de Cochran (1963) approfondit les règles, tandis que Freese (1962) explique comment les appliquer.

b. Efficacité de l'échantillonnage

Le but de l'échantillonnage est d'obtenir l'information requise sans avoir à débourser pour mesurer chaque unité d'échantillonnage dans la population. Des résultats assez exacts et utilisables peuvent être obtenus à l'aide des échantillons d'une fraction de la population. Mais alors, quelques précisions s'imposent. Quelles valeurs sont suffisamment exactes? Comment évalue-t-on le degré d'exactitude? À quel niveau une augmentation de la taille d'un échantillon accroît-elle le degré d'exactitude? Existe-t-il d'autres moyens d'accroître cette exactitude en considérant la quantité d'efforts?

Comme il a été décrit plus haut, l'exactitude d'une estimation est mesurée par l'importance de l'écart entre la valeur estimée et la valeur réelle. Le manque d'exactitude reflète la présence combinée des biais dans la méthode d'échantillonnage, des erreurs systématiques dans la méthode de mesurage ainsi que des erreurs aléatoires attribuées à la méthode d'échantillonnage et aux protocoles de mesure. Dans la plupart des applications, on suppose que les biais d'échantillonnage et les erreurs de mesure demeurent en deçà des limites acceptables et que l'exactitude est exprimée de façon adéquate par l'élément aléatoire de l'erreur d'échantillonnage. Cette dernière est habituellement exprimée à l'aide des calculs de variance ou d'écarts-types de l'estimateur. L'écart-type est utilisé pour exprimer les limites (absolues ou en pourcentage) de l'erreur tolérée autour de l'estimateur avec un niveau déterminé de confiance. Lorsque le niveau de confiance est fixé, un facteur que l'on désigne valeur 5 et la variance de l'échantillon déterminent la bande de confiance autour de l'estimateur. Par exemple, l'estimation d'une biomasse totale moyenne de 153 tonnes par hectare pourrait contenir une erreur d'échantillonnage de plus ou moins 5,4 tonnes, 95 % du temps. Seules les exigences du relevé indiquent le niveau acceptable d'exactitude. Celui-ci est lié à ces considérations fondamentales : à quoi serviront les données et quel est le risque de se retrouver avec une plus grande marge d'erreur. La conséquence d'un trop grand resserrement de la tolérance d'erreur est un coût excessif. Ces concepts s'appliquent également à l'exactitude des coefficients d'équation.

Après avoir fixé un degré d'exactitude qui est acceptable, quels moyens peut-on utiliser pour le

modifier? D'abord, l'augmentation de l'effectif de l'échantillon accroîtra le degré d'exactitude. Si on utilise un plan d'échantillonnage aléatoire simple, l'erreur d'échantillonnage est approximativement proportionnelle à l'inverse de la racine carrée de l'effectif de l'échantillon. Ainsi,

$$S_y = (S_y^2/n)^{1/2} \qquad [1]$$

où S_y est l'écart-type de l'estimateur, S_y une estimation de l'écart-type de la population et n l'effectif de l'échantillon. On suppose que l'échantillon est prélevé dans une population importante. Si l'on connait l'erreur admissible (E), l'écart-type de la population et le niveau de confiance nécessaire (t), on peut déterminer l'effectif de l'échantillon requis pour obtenir le niveau d'exactitude nécessaire d'un échantillonnage aléatoire simple, de la façon suivante :

$$n = t^2 S_y^2/E^2 \qquad [2]$$

Cependant, à mesure que l'on augmente l'effectif de l'échantillon pour obtenir le degré d'exactitude nécessaire, les coûts, auxquels s'ajoutent certains frais fixes ou généraux, s'élèvent en général en proportion directe avec le nombre d'échantillons.

La seconde approche utilisée pour améliorer l'exactitude consiste à modifier le plan d'échantillonnage. Dans le cas d'un échantillonnage aléatoire simple, chaque élément de la population a la même probabilité d'être prélevé et, lorsqu'on a déterminé l'effectif de l'échantillon, on a déterminé aussi la probabilité (quatrième règle d'échantillonnage). Avec d'autres plans, on tente d'utiliser l'information existante et les changements structuraux dans l'unité d'échantillonnage pour augmenter l'efficacité. L'échantillonnage aléatoire stratifié par exemple, emploie d'autres données connexes (comme la photo-interprétation des types forestiers) pour réunir les éléments d'échantillonnage dans des groupes homogènes qui, lors du relevé, sont considérés comme des sous-populations. Si elles sont réelles, les sous-populations auront une variance inférieure et l'erreur globale d'échantillonnage devrait être plus petite. La stratification permet l'emploi de différents systèmes de pondération qui réorientent l'effort d'échantillonnage en délaissant les strates les moins importantes pour celles qui présentent le plus grand intérêt ou la valeur maximale. La pondération modifie la probabilité de sélection d'une strate en faveur d'une autre, tout en respectant la quatrième règle d'échantillonnage pourvu que l'on connaisse la probabilité de sélection. De même, la structure de l'unité d'échantillonnage peut être changée. Par exemple, la répartition susmentionnée des arbres en grappes dans les placettes est une possibilité, comme d'ailleurs le système d'échantillonnage par points, dans lequel les arbres à un endroit donné sont choisis à l'intérieur d'une unité où la probabilité est proportionnelle à la taille. Ces changements structuraux soulèvent des questions connexes concernant la taille de placette la plus efficace et, dans le cas des placettes à rayon variable, du meilleur facteur de surface terrière à utiliser. Les manuels d'échantillonnage (par exemple, Cochran, 1963; Raj, 1968) examinent ces questions. Tous ces systèmes d'échantillonnage sont valables à condition que l'on respecte les cinq règles susmentionnées.

On peut utiliser une multitude de systèmes, dont l'efficacité varie selon les données auxiliaires existantes, la nature d'une population, et le coût de l'accès à une région et du prélèvement d'un échantillon. Le travail du concepteur d'inventaire consiste à choisir le plan le plus efficace pour un cas particulier. Le manuel d'échantillonnage de Freese (1962) est un guide très utile et pratique de sélection et d'utilisation des plans d'échantillonnage. Enfin, les manuels classiques sur l'échantillonnage par Cochran (1963) et Raj (1968), qui traitent du sujet en profondeur, intéresseront ceux qui désirent explorer d'autres possibilités ou comprendre les principes sous-jacents.

c. Méthode d'échantillonnage

- Déterminer les limites de la population à échantillonner. Cette opération comporte souvent le tracé de la zone cible sur une carte.
- Réunir les données existantes comme les cartes indiquant les types forestiers, les photographies aériennes, les données recueillies sur le terrain, etc., qui pourraient servir à établir une stratégie d'échantillonnage, à améliorer l'efficacité et à choisir une intensité d'échantillonnage. Par exemple, on pourrait utiliser les données sur le type de couvert ou un inventaire volumétrique existant pour stratifier la population, orienter les efforts vers les secteurs les plus intéressants et

s'assurer que l'on tient compte de conditions inhabituelles, mais importantes.

- Choisir un plan d'échantillonnage efficace. Dans le cas d'inventaires forestiers qui comportent des cartes sur les types forestiers, on doit considérer l'emploi des plans d'échantillonnage aléatoire stratifié.
- Sélectionner l'unité d'échantillonnage que l'on souhaite utiliser.
- Établir le cadre d'échantillonnage et les probabilités de sélection des unités d'échantillonnage. Si l'on a recours à l'échantillonnage stratifié, il faut attribuer des poids aux strates qui modifient volontairement la probabilité de sélection de façon à intensifier l'échantillonnage de strates ou de conditions particulières et à modérer cette activité pour d'autres. Par exemple, l'échantillonnage adéquat de conditions extrêmes est parfois difficile. Les systèmes de pondération peuvent servir à orienter l'effort d'échantillonnage dans cette direction sans violer les règles d'échantillonnage.
- À l'aide des données existantes sur les variances de population ou de strates, choisir l'effectif d'échantillon nécessaire pour obtenir le degré d'exactitude requis et pour tenir compte des conditions importantes.
- À l'aide d'un système de randomisation adapté au plan d'échantillonnage, choisir et énumérer les échantillons.
- Étudier le plan d'échantillonnage, les probabilités de sélection, les échantillons choisis et les méthodes de calcul.
- Si l'on s'écarte du plan d'échantillonnage, par exemple pour s'assurer que l'on tient compte des valeurs extrêmes d'une population, il faut consigner les modifications et vérifier les conséquences.

3. Méthodes appliquées sur le terrain et en laboratoire

La méthodologie utilisée sur le terrain pour recueillir des données arboricoles de base nécessaires à la formulation des équations de biomasse de l'arbre est fondée sur des protocoles mis au point et approfondis par Alemdag (1980). Depuis la publication du manuel d'Alemdag, cette méthodologie a été rigoureusement mise à l'épreuve dans le cadre de plusieurs programmes majeurs qui visaient la biomasse. On a constaté que les méthodes étaient exhaustifs, facilement exploitables dans la pratique et qu'ils ne nécessitaient qu'une modification ou un ajustement mineurs. Ce manuel reproduit ces méthodes en incorporant les modifications.

Le relevé des données comprend les mesures de placettes-échantillons et d'arbres-échantillons sur le terrain. Cependant, il n'est pas nécessaire de combiner ces deux approches; elles peuvent être utilisées ensemble ou séparément selon l'orientation du travail. De plus, on peut modifier ces méthodes afin de respecter des exigences locales.

La sélection des sites-échantillons doit être conforme aux lignes directrices de la section 2. Le choix des arbres-échantillons, les méthodes du sous-échantillonnage et de la pondération sur le terrain sont expliqués par étape dans cette section. En sélectionnant des arbres-échantillons, on doit s'assurer d'inclure la gamme complète de classes de diamètre pour chaque essence dans la zone d'échantillonnage et, à l'intérieur de chaque classe de diamètre, la gamme totale de catégories de hauteur. Afin de respecter de façon stricte la quatrième règle d'échantillonnage, il faut utiliser un système de pondération afin de ne pas perdre de vue les changements de probabilité d'une sélection qui sont liés à l'accentuation des conditions extrêmes. En pratique, on en tient rarement compte. Cependant, une bonne habitude à prendre consiste à consigner au moins les changements de probabilité de sélection utilisés pour inclure la gamme complète de classes de dimension. Lorsqu'on n'utilise pas la méthode de la placette-échantillon, les arbres-échantillons doivent être éparpillés dans des peuplements dont l'âge, le terrain et la classe de densité sont différents. Bien qu'on puisse prélever des échantillons d'arbres vivants, de santé et de vigueur moyennes et dont l'extrémité n'est pas brisée, quelques arbres morts aussi doivent être inclus. Les cônes et les branches mortes des arbres vivants doivent également être échantillonnés à des fins d'analyse complémentaire. Les méthodes de laboratoire sont traitées de même, par étapes.

Les étapes de mesurage d'un arbre entier sont les suivantes: 1) la sélection; 2) la mesure de l'arbre sur pied; 3) la coupe; 4) le relevé des données dimensionnelles; 5) la séparation des composantes de l'arbre; 6) la pesée des composantes vertes; 7) le prélèvement d'échantillons; 8) la pesée des échantillons verts; 9) le séchage à l'étuve des échantillons; 10) la pesée des échantillons anhydres; et 11) le mesurage de la densité du bois. Les échantillons de la tige comportent quatre dis-

ques provenant des arbres d'intérêt commercial et deux des arbres non commercialisables. Trois des quatres disques des arbres d'intérêt commercial doivent être prélevés dans la partie marchande de la tige à cause de sa plus grande importance comparée à celle de l'arbre entier. La détermination de la densité du bois, qui pourrait être à celle de une mesure optionnelle, n'est pas nécessaire pour la composition de tableaux de masses/dimensions, mais elle pourrait être requise pour convertir le volume en masse et pour établir des variances locales. On trouvera à l'annexe B les normes de mesurage et les listes proposées d'équipement pour les travaux sur le terrain et en laboratoire, à l'annexe C les codes d'essences, à l'annexe D les méthodes de détermination de la densité du bois et à l'annexe E les fiches d'enregistrement des échantillons. Si l'on préfère, les données peuvent être enregistrées électroniquement à l'aide d'un enregistreur de données, d'une calculatrice ou d'un ordinateur portatif. Pour la description et l'identification des essences, Hosie (1969) est un auteur ressource. Bien que ce manuel comporte la description des méthodes de traitement des branches et des arbres morts, le mesurage de ces matériaux est optionnel, car ils ne sont pas considérés comme faisant partie de la biomasse par définition.

a. Travaux de terrain sur la placette-échantillon

Pour faire l'échantillonnage de placettes dans un type de forêt particulier, il faut suivre les étapes suivantes:

1,0 Déterminer des placettes-échantillons de 400 m^2 dans des peuplements de maturité, de site et de classe de densité variés à l'intérieur d'une population spécifique.

2,0 Délimiter des placettes circulaires d'un rayon de 11,28 m pour obtenir l'échantillon de 400 m.

3,0 Établir deux sous-placettes-échantillons concentriques (sauf dans les plantations) d'un rayon de 2,82 et de 1,13 m (25 et 4 m respectivement).

4,0 À l'intérieur de chaque placette-échantillon de 400 m, prendre les mesures suivantes du peuplement et des arbres :

4,01 Consigner toutes les données appropriées relatives au peuplement.

4,02 Mesurer et consigner par essence le diamètre à hauteur de poitrine avec écorce (D) à 1,30 m du sol, de tous les arbres vivants et morts dont la valeur de D est supérieure ou égale à 5,1 cm. Aux fins de ce manuel, un arbre est une plante ligneuse vivace dont la hauteur est supérieure à 1,30 m. Une plante ligneuse dont la hauteur est égale ou inférieure à 1,30 m est un arbuste, un semis ou une gaule.

- Utiliser un bâton de 1,30 m de haut pour repérer le point de mesure.
- Marquer chaque arbre à hauteur de poitrine en prenant la mesure de D.
- Consigner la valeur réelle mesurée de D.
- Indiquer les arbres vivants et morts.
- Utiliser les codes d'essences fournis à l'annexe C.

4,03 Sélectionner au moins cinq arbres vivants dans chaque classe de D pour les essences dominantes, puis mesurer et noter leur hauteur totale (H).

4,04 Prélever des carottes à hauteur de poitrine sur cinq arbres vivants des classes dominantes et codominantes appartenant aux essences prédominantes, choisis au hasard dans un peuplement équienne, sauf dans les plantations, et dans toutes les classes de cime des essences prédominantes dans un peuplement inéquienne (la carotte doit inclure la moelle de l'arbre). Pour obtenir l'âge total dans les conditions existantes, compter le nombre de cernes sur la carotte et y ajouter le nombre d'années nécessaires pour la crois-

sance jusqu'à hauteur de poitrine. Noter l'âge total.

4,05 Dans la mesure du possible, choisir au moins deux arbres échantillons de santé et de vigueur moyennes et dont l'extrémité n'est pas brisée, dans chaque classe D d'arbres vivants, et de hauteurs différentes dans les classes D, pour l'échantillonnage de la masse et du volume (échantillonnage destructeur). Pour réaliser un échantillonnage complet, couvrir toute la gamme des classes de D existantes pour les essences échantillonnées et, à l'intérieur de chaque classe D, toute la gamme des classes de hauteur possibles, l'ensemble réparti sur plusieurs placettes-échantillons.

4,06 Identifier et noter chaque arbre-échantillon sur la photographie aérienne, au besoin.

4,07 Mesurer et noter le diamètre de la cime de chaque arbre échantillon.

4,08 Dans la mesure du possible, sélectionner un arbre-échantillon parmi les arbres morts, dans toutes les deux placettes-échantillons.

5,0 Dans les sous-placettes-échantillons de 25 m, utiliser la méthode suivante:

5,01 Mesurer et noter, par essence, le diamètre à hauteur de poitrine avec écorce, à 1,30 m, pour tout arbre vivant ou mort dont la valeur de D est inférieure à 5,1 cm.

5,02 Mesurer et noter la hauteur totale de deux à cinq arbres vivants choisis au hasard.

5,03 Sélectionner un arbre-échantillon parmi les arbres vivants.

6,0 Dans les sous-placettes-échantillons de 4 m, utiliser la méthode suivante:

6,01 Compter toutes les plantes ligneuses vivantes (semis d'arbres, gaules et arbustes) dont la hauteur varie entre 0,31 et 1,30 m, puis noter le total par essence en employant deux classes de hauteur: 0,31 à 0,80 m et 0,81 à 1,30 m.

6,02 Choisir au hasard un arbre-échantillon dans chaque classe de hauteur.

7,0 Si la placette-échantillon est une parcelle d'observation permanente, choisir des arbres-échantillons à l'extérieur de la placette.

b. Travaux de terrain sur l'arbre-échantillon

Si le travail ne consiste qu'à échantillonner des arbres, sélectionner au hasard ces derniers selon un système de pondération sur le territoire naturel des essences étudiées, afin d'inclure une gamme étendue de diamètres et de hauteurs. Lorsqu'on échantillonne les arbres sans utiliser une placette-échantillon, il faut d'abord mesurer et noter le diamètre à hauteur de poitrine avec l'écorce et le diamètre de la cime. Couper chaque arbre-échantillon à environ 0,30 m du sol et chaque arbuste ou petit arbre-échantillon au niveau du sol. Avant la coupe, débarrasser la zone autour de l'arbre-échantillon des broussailles, des petits arbres et des arbustes. Utiliser le protocole suivant pour l'échantillonnage d'arbres tant à l'intérieur d'une placette-échantillon qu'à l'extérieur.

ba. Marche à suivre pour les arbres-échantillons vivants d'intérêt commercial

Dans ce manuel, un arbre, qu'il soit vivant ou mort, est considéré d'intérêt commercial si son diamètre avec l'écorce atteint 9,1 cm à 2,80 m ou plus au-dessus du sol (=souche de 0,30 m de haut + une bille de 2,50 m de long). Plus précisément, on entend dans ce manuel par arbre d'intérêt commercial un arbre de taille marchande. Les autres arbres ne sont pas commercialisables. La hauteur marchande est la longueur de la tige à partir du sol jusqu'au point où le diamètre atteint 9,1 cm avec l'écorce. Dans une étude particulière, on peut attribuer d'autres valeurs à ce diamètre.

Pour chaque arbre vivant d'intérêt commercial, utiliser la méthode suivante (figures 3a et 3b) :

1. Mesurer et noter les dimensions suivantes (formules 2, 3 et 4):

1,1 Hauteur;

Hauteur de la souche;

Hauteur totale de l'arbre (tige principale), du sol jusqu'à l'extrémité. Placer un ruban métallique le long de la tige principale de façon à ce que la mesure de 1,30 m sur le ruban coïncide avec la marque de 1,30 m sur le fût;

Hauteur à partir du sol jusqu'au point sur la tige où le diamètre avec écorce atteint 9,1 cm. Marquer cette hauteur marchande sur la tige;

Hauteur à partir du sol jusqu'au tiers de la hauteur marchande. Marquer ce point sur la tige;

Hauteur à partir du sol jusqu'aux deux tiers de la hauteur marchande. Marquer ce point sur la tige;

Hauteur à partir du sol jusqu'à la base du premier verticille de branches vivantes. Marquer ce point sur la tige;

1,02 Diamètre;

Diamètre à hauteur de poitrine avec écorce (D);

Diamètre de la souche avec écorce au niveau du sol;

Diamètre de la souche avec écorce au point de coupe;

Diamètre avec écorce à 0,80 m au-dessus du sol;

Diamètre avec écorce à 5,0 cm sous la base du premier verticille de branches vivantes;

Diamètre avec écorce à tous les deux mètres, en partant de 2,00 m au-dessus du sol;

1,03 Double épaisseur de l'écorce

Double de l'épaisseur de l'écorce (dée) à tous les endroits où on a mesuré le diamètre;

1,04 Âge total;

Calculer les cernes sur la face de la souche et y ajoutér le nombre d'années qui sont nécessaires au plant pour atteindre la hauteur de la souche (un test pour déterminer l'âge d'un semis de 0,30 m de haut est un prérequis).

2,0 Séparer et sectionner les parties d'arbres de la façon suivante:

2,01 Couper toutes les branches en laissant l'extrémité de l'arbre (pousse principale) sur la tige; subdiviser et empiler les branches de façon à former trois groupes: grosses branches vivantes, petites branches vivantes et branches mortes;

2,02 Enlever toutes les brindilles qui portent des feuilles ainsi que les feuilles des branches vivantes (dans ce manuel, «feuilles» est synonyme «d'aiguilles»);

2,03 Cueillir de nouveaux cônes, ainsi que ceux des années antérieures, et les empiler séparément (dans ce manuel, «cône» est synonyme de «noix» et de «fruits»);

2,04 Sectionner la tige principale au tiers, aux deux tiers et à l'extrémité supérieure de la hauteur marchande.

3,0 Peser ce qui suit pour établir la masse verte (MV), y compris l'écorce; consulter la figure 4 et consigner les résultats (formule 5):

3,01 Masse verte des grosses branches vivantes, des petites branches vivantes et des branches mortes, chaque catégorie étant traitée séparément;

3,02 Masse verte des rameaux et des feuilles ensemble;

3,03 Pour les conifères, la masse verte des nouveaux et des vieux cônes,

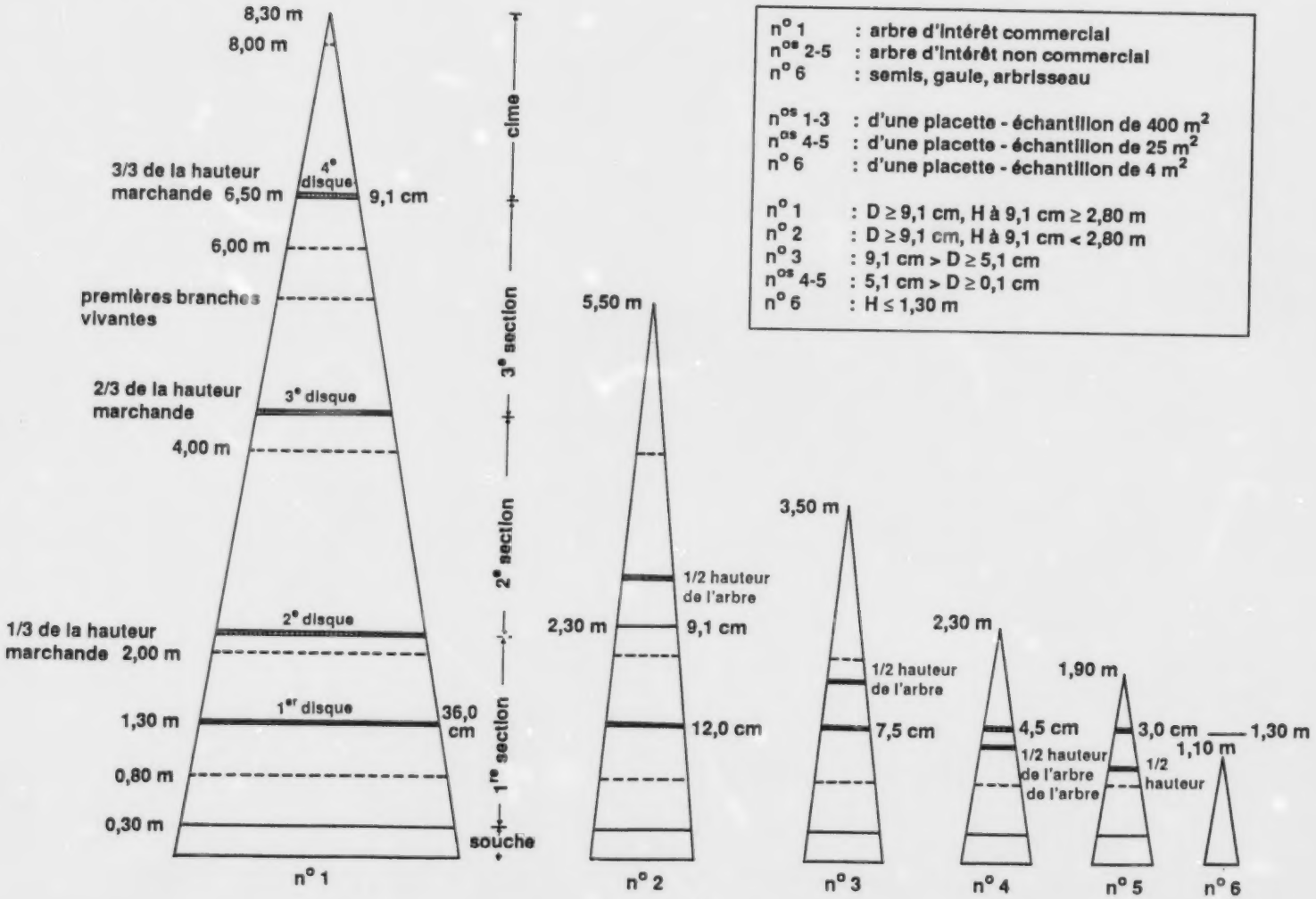

Figure 3a. Instruction schématique pour les diamètres mesurés et les disques échantillons prélevés sur les arbres et arbustes marchands et non marchands.

ARBRE D'INTÉRÊT COMMERCIAL	D ≥ 9,1 cm Hauteur jusqu'au diamètre avec écorce de 9,10 cm ≥ 2,80 m Trois sections de l'arbre et la cime pour pesage Quatres disques (hauteur de poitrine, 2e et 3e sections, cime) de la tige
ARBRE D'INTÉRÊT NON COMMERCIAL	D ≥ 9,1 cm Hauteur jusqu'au diamètre avec écorce 9,10 cm ≥ 2,80 m Toute la tige pour pesage Deux disques prélevés de la tige (hauteur de poitrine et moitié de la tige)
	9,1 cm > D ≥ 5,1 cm Taille normale Toute la tige pour pesage Deux disques prélevés de la tige (hauteur de poitrine et moitié de la tige)
	5,10 cm > D ≥ 0,1 cm Taille normale Toute la tige pour pesage Deux disques prélevés de la tige (hauteur de poitrine et moitié de la tige)
SEMIS GAULE ARBRISSEAU	H ≤1,30 m Découper pour le pesage: tige, branches, brindilles et feuilles Il n'y a pas de disque
ARBRE MORT	Toute mesure de D Arbre entier pour le pesage Deux disques prélevés de la tige (hauteur de poitrine, moitié de la tige)

Figure 3b. Description de ce qui paraît à la Figure 3a.

séparément; pour les autres arbres, prendre un échantillon de n'importe quel fruit présent;

3,04 Masse verte des trois sections de la tige marchande, séparément (après les avoir coupées en morceaux maniables);

3,05 Masse verte de la portion supérieure de la tige principale.

4,0 Recueillir des échantillons de la façon suivante:

4,01 Prélever un bouquet d'échantillons de rameaux et de feuilles (chaque échantillon pesant environ 150 g ou étant suffisant pour remplir un sac de plastique de 20 x 30 cm);

4,02 Prélever un échantillon dans chaque pile de cônes (1 à 3 cônes) ou d'autres fruits;

4,03 Prélever deux disques-échantillons (8 à 10 cm de long), l'un provenant d'une grosse branche vivante et l'autre, d'une petite branche vivante. Choisir des branches de longueur moyenne;

4,04 Prélever un disque-échantillon (8 à 10 cm de long) dans la pile de branches mortes d'un arbre sur quatre. Choisir une branche de longueur moyenne;

4,05 Prélever un disque-échantillon de 3 à 4 cm d'épaisseur à hauteur de poitrine, à 1,30 m de la base. La face inférieure du disque doit être à la marque de 1,30 m;

4,06 Prélever un disque-échantillon, de 3 à 4 cm d'épaisseur, de l'extrémité inférieure des sections 2 et 3 de la tige marchande (marquées à un tiers et aux deux tiers de la hauteur marchande);

4,07 Prélever un disque-échantillon de 3 à 4 cm d'épaisseur, de l'extrémité inférieure de la cime;

4,08 Placer chaque disque-échantillon dans un sac de polyéthylène portant une étiquette qui indique le numéro de la placette-échantillon (s'il y a lieu), celui de l'arbre-échantillon et le code de l'échantillon; identifier les disques par une inscription sur leur face inférieure, puis fermer le sac hermétiquement.

Utiliser les codes suivants pour les échantillons :

L1 : bouquet de rameaux et de feuilles
C1 : nouveaux cônes ou fruits
C2 : vieux cônes ou fruits
B1 : disque provenant des grosses branches vivantes
B2 : disque provenant des petites branches vivantes
B3 : disque provenant des branches mortes
S1 : disque prélevé à hauteur de poitrine
S2 : disque prélevé dans la deuxième section ou au milieu de la tige
S3 : disque prélevé dans la troisième section
S4 : disque prélevé dans la partie supérieure de l'arbre

Remarque : On peut prélever un plus grand nombre de disques dans la tige lorsque les arbres échantillonnés sont de grande taille.

bb. Marche à suivre pour les arbres-échantillons vivants non commercialisables.

Pour chaque arbre vivant non commercialisable, utiliser la méthode suivante (figures 3a, 3b et 4) :

1,0 Mesurer et consigner les paramètres suivants (formules 2, 3 et 4) :

1,01 Hauteur de l'arbre-échantillon;

1,02 Diamètre à hauteur de poitrine avec l'écorce;

1,03 Diamètre de la souche avec l'écorce au niveau du sol;

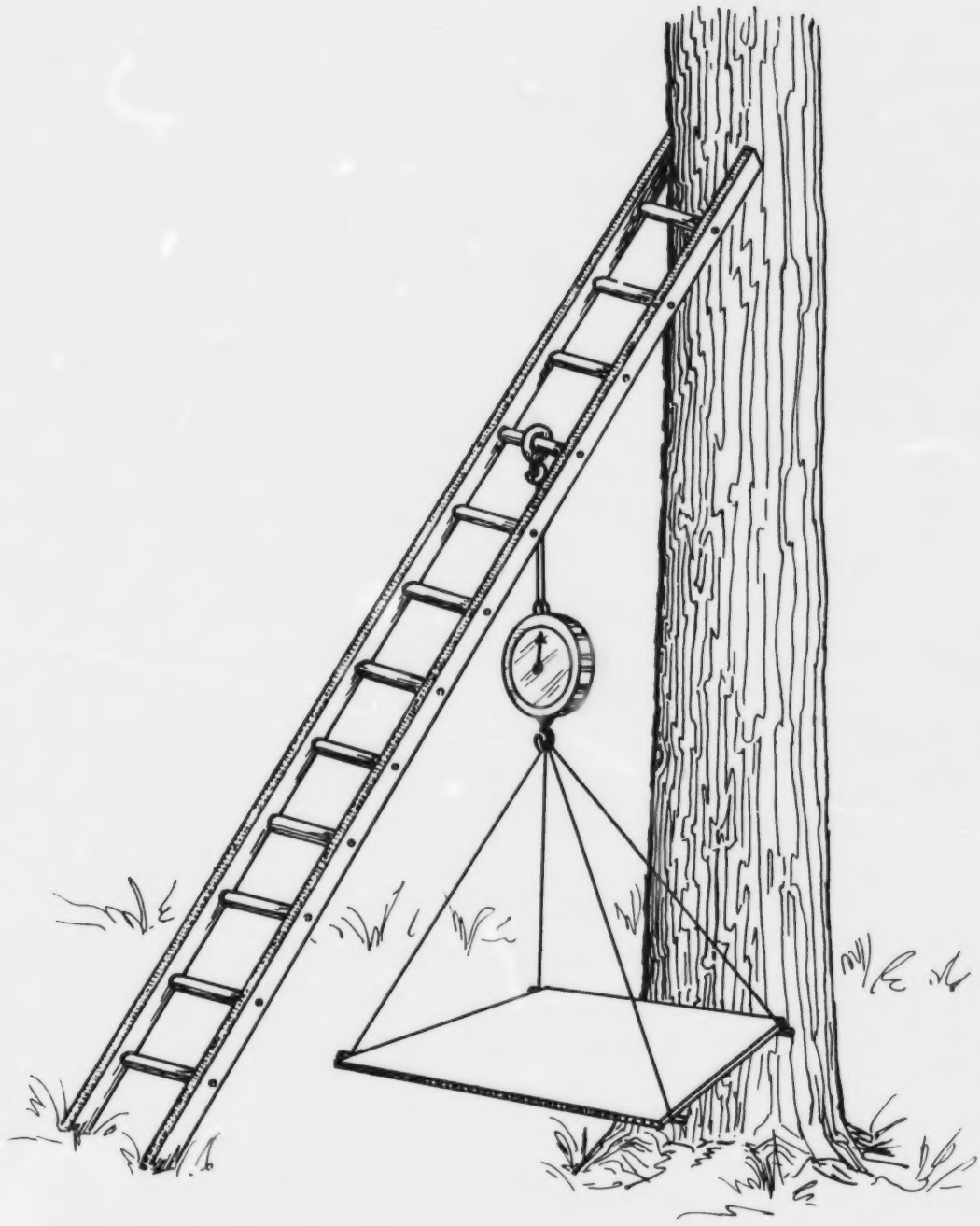

Figure 4. Une façon d'arranger le tensiomètre sur le terrain.

1,04 Diamètre avec l'écorce sur la face de la souche;

1,05 Diamètre avec l'écorce à 0,80 m au-dessus du sol;

1,06 Diamètre avec l'écorce à tous les 2,00 mètres, en partant de 2,00 m au-dessus du sol;

1,07 Double de l'épaisseur de l'écorce aux endroits où le diamètre est mesuré;

1,08 Compter les cernes sur la face de la souche et y ajouter le nombre d'années approprié afin d'obtenir l'âge total (l'essai pour déterminer l'âge d'un semis de 0,30 m de hauteur est un prérequis).

2,0 Séparer, couper, et peser les matériaux et recueillir les échantillons (formule 5). Si l'arbre est très petit, toutes ses composantes peuvent être pesées en laboratoire (formules 2 et 6).

2,01 Procéder comme en *ba*/2,0, sauf 2,04;

2,02 Procéder comme en *ba*/3,0/3,01, 3,02 et 3,03, et mesurer la masse totale de la tige principale;

2,03 Procéder comme en *ba*/4,0, sauf 4,06 et 4,07, et prélever un disque-échantillon additionnel d'une épaisseur de 3 à 4 cm au milieu de la tige.

bc. Marche à suivre pour les arbustes et les arbres vivants (dont la hauteur est inférieure à 1,30 m).

1,0 Mesurer et noter les paramètres suivants (figures 3*a* et 3*b*, et formules 2 et 6) :

- Hauteur totale;
- Diamètre avec écorce au niveau du sol;
- Double de l'épaisseur de l'écorce au niveau du sol.

2,0 Compter et noter le nombre de cernes annuels au niveau du sol.

3,0 Couper en morceaux l'arbre, l'arbuste ou le petit arbre et placer tous les matériaux dans un sac en vue de leur traitement pour déterminer la masse verte et anhydre totale.

bd. Marche à suivre pour les arbres morts.

Échantillonner les arbres morts au moyen de la méthode suivante (formules 2, 5 et 7):

1,0 Mesurer et noter la hauteur de la souche et de l'arbre ainsi que les diamètres à hauteur de poitrine, à 0,80 m au-dessus du sol, sur la face de la souche et au niveau du sol.

2,0 Peser et noter la masse totale de l'arbre, y compris la tige et les branches.

3,0 Prélever deux disques-échantillons, l'un à hauteur de poitrine et l'autre au milieu de la tige.

be. Généralités.

1,0 S'assurer que toutes les mesures nécessaires ont été prises correctement et qu'il n'y a pas de lectures inhabituelles dans le cas des diamètres et du double de l'épaisseur de l'écorce.

2,0 S'assurer que tous les échantillons requis ont été prélevés. Ces échantillons sont les suivants:

2,01 Pour chaque arbre-échantillon vivant d'intérêt commercial, l'échantillon comprend quatre disques provenant de la tige, deux disques des branches vivantes, un disque des branches mortes, un sac de rameaux et de feuilles de la cime ainsi que des cônes et des fruits (lorsqu'ils sont présents).

2,02 Pour chaque arbre-échantillon vivant non commercialisable, l'échantillon comprend deux disques provenant de la tige, deux disques des branches vivantes, un disque des branches mortes, un sac de rameaux et de feuilles de la cime ainsi que des cônes ou des fruits (lorsqu'ils sont présents);

2,03 Pour chaque arbuste ou petit arbre-échantillon vivant, l'échantillon comprend la plante entière;

2,04 Pour chaque arbre mort, l'échantillon comprend deux disques provenant de la tige.

3,0 Expédier tous les échantillons aussi tôt que possible au laboratoire de terrain pour des mesures complémentaires. Si le traitement en laboratoire est retardé, entreposer les échantillons dans un réfrigérateur à 0°C afin de minimiser la perte d'humidité.

4,0 Après le prélèvement des échantillons, éliminer tous les matériaux restants.

5,0 À la fin de chaque jour de travail, examiner tous les arbres-échantillons afin de déterminer les lacunes à combler dans les classes de D et de H en utilisant la formule 8.

c. Travaux de laboratoire

Comme dans le cas des méthodes de travail sur le terrain, les travaux de laboratoire s'appuient sur des méthodes mises au point et approfondies par Alemdag (1980). On recommande l'utilisation des fiches d'enregistrement des données comme celles illustrées à l'annexe E.

ca. Marche à suivre pour mesurer des disques provenant des arbres vivants.

1,0 Mesurer et consigner, de la façon suivante, les cernes annuels et les diamètres du côté inférieur de chaque disque provenant de la tige (formule 7):

1,01 Compter le nombre de cernes annuels depuis la moelle jusqu'à la bordure du bois;

1,02 Mesurer le diamètre moyen avec l'écorce;

1,03 Mesurer le double de l'épaisseur de l'écorce du diamètre moyen;

1,04 Mesurer la largeur totale des dix derniers cernes annuels (les dix cernes les plus extérieurs) le long d'un rayon du diamètre moyen.

2,0 Couper un quartier de chaque disque provenant de la tige et l'étiqueter. Dans la mesure du possible, prélever une section de bois uniforme en évitant les noeuds ou d'autres irrégularités.

3,0 Déterminer la masse verte (MV) de la façon suivante (formules 6 et 7):

3,01 Enlever l'écorce de la partie qui reste du disque de la tige. Faites de même avec l'écorce des disques entiers provenant des branches vivantes;

3,02 Peser et noter la masse verte du bois;

3,03 Peser et noter la masse verte de l'écorce;

3,04 Étiqueter et entreposer le bois et l'écorce séparément en vue de leur séchage ultérieur.

4,0 Déterminer la masse anhydre (MA) de la façon suivante (formules 6 et 7):

4,01 Sécher les échantillons à l'étuve (écorce et bois, à l'exception des quartiers);

4,02 Les retirer de l'étuve, les placer dans un dessicateur jusqu'à ce qu'ils soient froids, puis peser et noter la masse anhydre de chaque échantillon;

4,03 Éliminer tous ces échantillons.

5,0 Déterminer la densité du bois à l'aide des quartiers de la façon suivante (formule 7):

5,01 Enlever l'écorce du quartier;

5,02 Tremper chaque quartier pendant au moins une heure;

5,03 Retirer les quartiers, les déposer sur leur tranche pendant 10 minutes pour permettre à l'excès d'eau de

s'égoutter, puis les éponger avec un chiffon ou un papier serviette;

5,04 Immerger chaque quartier dans un récipient plein d'eau pour déterminer le volume d'eau déplacé en utilisant la méthode 1 décrite dans les normes TAPPI T18m-53 (annexe D), puis noter le volume (volume vert);

5,05 Sécher à l'étuve chaque quartier;

5,06 Le retirer de l'étuve, le placer dans un dessicateur jusqu'à ce qu'il soit froid, puis peser et noter la masse anhydre de l'échantillon;

5,07 Éliminer tous ces échantillons.

6,0 Si l'échantillon est un arbuste entier comprenant la tige, les branches, les rameaux et les feuilles, déterminer la masse verte totale et traiter l'échantillon pour obtenir sa masse anhydre.

cb. Marche à suivre pour mesurer les rameaux, les feuilles, les cônes et les fruits des arbres vivants.

1,0 Déterminer la masse verte de la façon suivante (formule 6):

1,01 Dépouiller les rameaux de leurs feuilles;

1,02 Peser séparément la masse verte des feuilles et des rameaux;

1,03 Peser séparément la masse verte des nouveaux et des vieux cônes;

1,04 Étiqueter et entreposer tous ces matériaux pour un séchage ultérieur.

2,0 Déterminer la masse anhydre de la façon suivante (formule 6):

2,01 Sécher à l'étuve chaque échantillon;

2,02 Retirer l'échantillon de l'étuve, le placer dans un dessicateur jusqu'à ce qu'il soit froid, puis peser et noter la masse anhydre de chaque échantillon;

2,03 Éliminer tous ces échantillons.

cc. Marche à suivre pour mesurer des disques provenant des arbres morts.

1,0 Mesurer et noter la longueur du diamètre moyen ainsi que le double de l'épaisseur de l'écorce, s'il y a lieu.

2,0 Déterminer les masses verte et anhydre des disques de la façon décrite ci-devant (mais sans enlever l'écorce), et noter les résultats sous la rubrique «bois» sur la formule 7. Il n'est pas nécessaire de mesurer la densité du bois, de compter les cernes annuels ni de mesurer la largeur de dix cernes.

4. Calculs

Le calcul de la masse des composantes de l'arbre, de la densité du bois et du volume de la tige doit être effectué d'après les méthodes décrites par Alemdag (1984b).

a. Calculs de la masse

En premier lieu, on doit calculer le pourcentage d'écorce (en termes de bois avec l'écorce) des disques de la tige en utilisant la masse verte obtenue des disques. Ensuite, avec la moyenne pondérée de ces pourcentages employée aux deux bouts des sections du bas, du milieu et du tiers supérieur de la tige marchande, on doit distinguer, pour chaque masse verte du bois avec l'écorce de ces sections, une masse du bois et une de l'écorce. Les facteurs de pondération doivent être les carrés des diamètres avec l'écorce des disques. Dans le cas de la section du bas, le disque prélevé à hauteur de poitrine doit être utilisé comme disque de l'extrémité inférieure. Pour la cime, un seul disque est nécessaire. Ensuite, on détermine les rapports masse anhydre/ masse verte (MA/MV) des échantillons susmentionnés. Ces rapports sont multipliés par les valeurs réelles mesurées de MV des composantes pour obtenir les valeurs de MA. Quand on travaille avec la masse du bois et celle de l'écorce des quatres sections de la tige, il faut calculer la moyenne pondérée des rapports MA/MV de chaque section de la même manière que les pourcentages pondérés de l'écorce avant d'appliquer ces rapports aux masses vertes des

sections. La masse anhydre du bois de souche et de l'écorce de souche doit être calculée en utilisant le rapport du volume de la souche au volume de la partie entre la hauteur de la souche et la hauteur maximale de la section marchande inférieure. Après avoir terminé ces calculs pour la tige, on fait la somme des résultats pour obtenir la masse anhydre du bois et de l'écorce de la tige totale à laquelle on ajoute la masse anhydre des branches vivantes, des rameaux et des feuilles, ainsi que des branches mortes et des fruits pour déterminer la masse anhydre de l'arbre entier. Cependant, on ne doit pas inclure dans la masse de l'arbre entier celle des fruits et des branches mortes lorsqu'on procède à des études d'estimation. En plus de la masse anhydre des diverses composantes de l'arbre, on doit calculer la masse anhydre totale du bois de la tige marchande, de l'écorce de la tige marchande ainsi que des résidus de récolte (arbre entier moins le bois et l'écorce de la tige marchande).

b. Calculs de la densité de base du bois

La densité de base du bois est, par définition, le rapport de la masse anhydre du bois au volume vert, exprimé en termes de masse par unité de volume. Pour chaque disque prélevé de la tige, il doit être calculé en divisant la masse anhydre en grammes du quartier du disque par son volume vert en centimètres cubes. La densité moyenne du bois du fût peut être obtenue en déterminant les moyennes pondérées de ces densités du bois, les facteurs de pondération étant le carré du diamètre sans l'écorce des disques.

c. Calculs du volume

Le volume de la tige, du sol jusqu'à l'extrémité de l'arbre, doit être calculé avec l'écorce, puis sans écorce en mètres cubes. Dans ce calcul, on doit utiliser la formule du tronc néloïde pour déterminer le volume de la souche, la formule du cône pour la cime de l'arbre et la formule de Smalian pour la partie de la tige entre ces deux sections. On doit obtenir des valeurs pour le tiers inférieur (excluant la souche), le tiers moyen et le tiers supérieur de la tige marchande ainsi que pour la cime et la souche.

Les résultats de ces calculs et la majeure partie des données sur l'arbre-échantillon doivent ensuite être entrés par ordinateur dans des tableaux que l'on désigne résumés d'un arbre. Ultérieurement, ces données traitées doivent être vérifiées visuellement afin de déceler toute anomalie dans les valeurs calculées en les compilant par ordre croissant de D et de H. Ensuite, on corrige les erreurs évidentes à l'aide des données recueillies sur le terrain ou bien on élimine les arbres qui sont la source de ces erreurs. Les tableaux 1a et 1b fournissent des exemples de ces arbres et de tableaux de vérification.

Tableau 1a. Exemple d'un tableau récapitulatif (préparé par l'ordinateur) des données sur un arbre individuel

TABLE OF SINGLE-TREE SUMMARIES

PROJECT NO.: PI-12-067 STUDY NO.: ENFOR-234

PLOT NO. 1	TREE NO. 12	SPECIES CODE 720	DBHOB (CM) 35.0	HEIGHT (M) 22.06
	AGE (YR) 94	CR DIAM (M) 8.5	HT BLCR (M) 8.17	MERCH HT (M) 15.60
	TREE STATUS 1	DBT AT BH (CM) 2.0		

ROW NO.	DESCRIPTION	SEC NO.	GREEN MASS (KG)	OVENDRY MASS (KG)	OM/GM RATIO	VOLUME (M^^3) OUTSIDE BK	INSIDE BK
1	STEM WOOD	1^	342.468	186.529	0.545		0.436
2		2	236.462	127.487	0.539		0.227
3		3	90.256	48.342	0.536		0.089
4		4	11.650	6.147	0.528		0.013
5	ROWS 1-4	TOTAL	680.836	368.506	0.541		
6	STEM BARK	1^	38.232	21.638	0.566		
7		2	27.338	15.659	0.573		
8		3	13.044	7.305	0.560		
9		4	2.450	1.344	0.549		
10	ROWS 6-9	TOTAL	81.064	45.946	0.567		
11	STEM WOOD PLUS BARK	1^	380.700	208.168	0.547	0.483	
12		2	263.800	143.146	0.543	0.257	
13		3	103.300	55.647	0.539	0.104	
14		4	14.100	7.491	0.531	0.016	
15	ROWS 11-14	TOTAL	761.900	414.452	0.544		
16	BARK % OF WOOD PLUS BARK ^^	1	10.0	10.4			
17		2	10.4	10.9			
18		3	12.6	13.1			
19		4	17.4	17.9			
20		AVG.	10.6	11.1			
21	BRANCHES, DEAD		10.100	7.070	0.700		
38	WOOD, LIVE BRANCHES > 9.0 CM		106.049	58.962	0.556		
39	BARK, LIVE BRANCHES > 9.0 CM		20.751	11.081	0.534		
22	BRANCHES, LIVE > 9.0 CM		126.800	70.043	0.552		
40	WOOD, LIVE BRANCHES < 9.1 CM		150.632	78.704	0.522		
41	BARK, LIVE BRANCHES < 9.1 CM		31.768	16.661	0.524		
23	BRANCHES, LIVE < 9.1 CM		182.400	95.365	0.523		
42	TWIGS		16.619	8.837	0.532		
43	LEAVES		20.181	7.266	0.360		
24	TWIGS AND LEAVES		36.800	16.103	0.438		
44	NEW CONES		1.700	0.551	0.324		
45	OLD CONES		0.400	0.181	0.453		
46	CONES		2.100	0.732	0.349		
25	STUMP WOOD		91.078	49.892	0.548		0.116
26	STUMP BARK		7.165	3.999	0.558		
27	STUMP WOOD PLUS BARK		98.242	53.892	0.549	0.125	
28	TOTAL (ROWS 15,21,22,23,24,27,46)		1218.343	657.657	0.540	0.984	0.881
29	MERCHANTABLE-STEM WOOD		669.186	362.359	0.541		0.752
30	MERCHANTABLE-STEM BARK		78.614	44.602	0.567		
31	MERCHANTABLE-STEM WOOD PLUS BARK		747.800	406.961	0.544	0.843	
32	HARVESTING RESIDUE (28 MINUS 31)		468.443	249.964	0.534		
33	WOOD DENSITY (GRAM/CM^^3)	1			0.633		
34		2			0.620		
35		3			0.608		
36		4			0.601		
37		AVG.^^^			0.624		

^ EXCLUDING STUMP
^^ WEIGHTED AVERAGE BY DOB^^2 OF DISKS
^^^ WEIGHTED AVERAGE BY DIB^^2 OF DISKS

Tableau 1b. Exemple d'un tableau de contrôle (préparé par l'ordinateur)

PROJECT: PI-12-067 STUDY: ENFOR-234

CHECKING TABLE NO. 1
NUMBER OF TREES: 5
SPECIES CODE : 720
TREE STATUS : 1

* TOTAL OF THE COLUMN / N
** INCLUDING STUMP
*** DISREGARDING COMPONENTS WITH ZERO VALUES
**** WHOLE TREE CONTAINS DEAD BRANCHES AND CONES

				OM OF COMPONENTS						OM OF COMPONENT/ OM OF STEM WOOD***								S W'S
DBHOB	TOTAL HEIGHT	PLT NO.	TR NO.	STEM WOOD**	STEM BARK**	DEAD BRCH	LIVE BRCH	TWG,LVS & CONES	WHOLE TREE	MERCH WOOD	MERCH BARK	STUMP W & BK	DEAD BRCH	LIVE BRCH	TWG,LV &CONES	STEM BARK**	WHOLE TREE	OM** /GM**
1.7	3.21	8	3	0.19	0.02	0.00	0.23	0.12	0.56	0.00	0.00	0.28	0.00	1.21	0.66	0.10	2.98	0.63
6.2	5.00	1	39	6.46	1.34	0.00	1.42	1.42	10.64	0.00	0.00	0.12	0.00	0.22	0.22	0.21	1.65	0.59
16.1	16.30	2	6	60.22	9.03	1.93	14.72	2.97	88.86	0.75	0.11	0.06	0.03	0.24	0.05	0.15	1.48	0.56
35.0	22.06	1	12	418.40	49.94	7.07	165.41	16.84	657.66	0.87	0.11	0.13	0.02	0.40	0.04	0.12	1.57	0.54
59.6	23.87	8	28	1085.32	201.48	3.69	649.89	13.75	1954.13	0.93	0.18	0.07	0.00	0.60	0.01	0.19	1.80	0.60
AVG*				314.12	52.36	2.54	166.33	7.02	542.37	0.51	0.08	0.13	0.01	0.53	0.20	0.15	1.89	0.58

PROJECT: PI-12-067 STUDY: ENFOR-234

CHECKING TABLE NO. 2
NUMBER OF TREES: 5
SPECIES CODE : 720
TREE STATUS : 1

* TOTAL OF THE COLUMN / N
** INCLUDING STUMP
*** DISREGARDING COMPONENTS WITH ZERO VALUES
**** WHOLE TREE CONTAINS DEAD BRANCHES AND CONES

				INSIDE VOL. OF 4 SECT'S				INSIDE VOLUME	OM OF WOOD OF 4 SECTIONS				INSIDE OM	WOOD DENSITY OF 4 SECTIONS					SW OM**/
DBHOB	TOTAL HEIGHT	PLT NO.	TR NO.	1ST**	2 ND	3 RD	4 TH	STEM WOOD	1 ST**	2 ND	3 RD	4 TH	STEM WOOD	1 ST	2 ND	3 RD	4 TH	AVG.	S INSIDE VOLUME**
1.7	3.21	8	3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.188	0.649	0.687	0.000	0.000	0.664	188.0
6.2	5.00	1	39	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	6.457	0.602	0.517	0.000	0.000	0.574	807.1
16.1	16.30	2	6	0.041	0.026	0.019	0.018	0.104	20.678	15.414	12.309	11.816	60.217	0.602	0.527	0.583	0.536	0.569	579.0
35.0	22.06	1	12	0.552	0.227	0.089	0.013	0.881	236.421	127.487	48.342	6.147	418.398	0.633	0.620	0.608	0.601	0.624	474.9
59.6	23.87	8	28	1.543	0.506	0.134	0.005	2.189	656.491	321.168	103.205	4.455	1085.320	0.676	0.720	0.628	0.596	0.683	495.8
AVG*				0.427	0.152	0.048	0.007	0.637	182.718	92.814	32.771	4.484	314.116	0.632	0.614	0.364	0.347	0.623	509.0

III. ÉQUATIONS DE LA BIOMASSE DE L'ARBRE

Les équations de la biomasse de l'arbre servent à estimer les quantités de biomasse de l'arbre entier et de ses composantes à l'aide de données disponibles ou facilement mesurables. L'emploi des équations permet d'éviter le processus lent, coûteux et destructeur de la mesure directe de la biomasse, tel que décrit au chapitre précédent. Les équations peuvent servir à réaliser de nouveaux inventaires de biomasse, à convertir des données contenues dans des inventaires forestiers traditionnels déjà existants et aider à résoudre des problèmes particuliers d'estimation de la biomasse (p. ex. essences non marchandes, classes de dimension ou composantes d'arbre). Ces équations peuvent être établies pour la masse anhydre ou verte, la première étant plus courante parce qu'elle permet des prévisions de masse plus uniformes. L'application des équations à l'inventaire forestier est approfondie au chapitre IV.

L'étude des équations de la biomasse d'un arbre comprend la description des méthodes pour l'établissement et la mise en application de nouvelles équations ainsi que pour l'adaptation des équations existantes. Le chapitre présente d'abord un historique et des lignes directrices générales sur la pertinence des équations, puis expose des méthodes précises permettant la construction ou le choix d'équations.

Les mesures de la biomasse anhydre de l'arbre entier et de ses composantes (les variables dépendantes) sont celles qui ont été définies au chapitre II. Les variables indépendantes se limitent au diamètre, à la hauteur et au volume de l'arbre pour les raisons déjà citées. On fait énormément appel aux techniques de régression linéaire dans les méthodes utilisées pour construire, mettre à l'épreuve et sélectionner les équations. Les propriétés désirables des équations sont décrites ainsi que les précautions à prendre dans l'utilisation des techniques d'analyse de régression.

Ces lignes directrices ne traitent pas de la régression linéaire ni des principes sous-jacents. On suppose que le lecteur est suffisamment renseigné pour organiser les données en vue de leur analyse, utiliser les programmes informatiques de traitement par régression multiple et comprendre les importantes hypothèses sous-jacentes aux techniques de régression ainsi que les limites qu'elles imposent. Cependant, on approfondit ici dans une certaine mesure les conséquences qui peuvent s'ensuivre si l'on ne tient pas compte des hypothèses. La majeure partie de la terminologie de la régression est définie dans le glossaire (annexe A). Les manuels de Draper et Smith (1966), Snedecor et Cochran (1967) et Johnston (1963) sont rédigés de façon claire et couvrent les aspects théoriques importants. Les deux premiers chapitres de Johnston (1963) offrent un examen concis et complet des techniques de régression, tout comme on en trouve dans Freese (1984).

1. Rôle des équations de la biomasse de l'arbre

Plusieurs types d'équations de la biomasse de l'arbre peuvent être utilisés pour les inventaires de biomasse. La catégorie d'équations dépend surtout des données existantes sur les arbres et des dimensions des arbres ou des arbustes examinés.

Le diamètre à hauteur de poitrine avec l'écorce (D) est presque toujours la principale variable utilisée pour les inventaires de volume ou de biomasse parce qu'elle est fortement liée au volume ou à la biomasse et qu'il est facile et peu coûteux de la mesurer. La hauteur totale de l'arbre (H) est également importante, mais elle se mesure plus difficilement. Souvent, on mesure la hauteur d'une partie des arbres-échantillons et l'on utilise les équations de H sur D pour estimer la hauteur des autres arbres. À leur tour, D et H sont employés dans des équations de volume normalisé ou local pour obtenir diverses expressions du volume de la tige (V). Ainsi, pour évaluer la biomasse d'arbres entiers ou de leurs composantes, on peut utiliser D, H ou V. Comme V est estimé à partir de D et de H dans la plupart des cas, la meilleure façon d'évaluer la biomasse est d'obtenir cette valeur directement à partir de D et H plutôt qu'en convertissant le volume en biomasse. Cependant, lorsque H est en grande partie ou complètement estimé à partir de D, les équations de la biomasse qui dépendent de D seulement sont souvent plus appropriées et sont recommandées quand elles existent. L'examen des équations de la biomasse de l'arbre sera axé sur l'utilisation des variables D et H.

L'efficacité des équations de l'arbre varie en fonction de la taille des arbres. Selon des résultats obtenus récemment sur l'exactitude et le coût de la mesure d'arbres de dimensions différentes, des prélèvements de sous-échantillons, des expériences sur les gammes utiles des équations et des estimations de la biomasse des composantes, trois catégories devraient être reconnues :

- Pour les arbres dont D est égal ou supérieur à 5,1 cm, on devrait utiliser une série d'équations de l'arbre entier et de ses composantes par essence, basée sur D seulement ou sur D et H ensemble.

- Pour les arbres et les arbustes dont D varie de 0,1 à 5,0 cm, on devrait employer des équations basées sur D pour estimer la biomasse de l'arbre entier. La biomasse des composantes ne devrait pas être traitée dans cette catégorie. S'il n'existe pas d'équations pour cette catégorie, on peut employer, à la place, les équations établies pour les arbres dont la valeur de D est supérieur à 5,0 cm, bien qu'elles puissent être moins précises dans le cas d'arbres dont D est inférieur à 5,1 cm. Il faut prendre certaines précautions pour les estimations de la biomasse lorsque D se rapproche de zéro.

- On devrait trier et compter les arbres et les arbustes dont H varie entre 0,31 et 1,30 m (c.-à-d. sans D), selon deux classes de hauteur, soit 0,31 à 0,80 m et 0,81 à 1,30 m. Pour chaque classe, on utilise la masse moyenne par arbre pour obtenir les estimations de biomasse. Les équations d'évaluation de l'arbre ne sont pas nécessaires dans cette catégorie.

Les arbres et les arbustes dont la hauteur est égale ou inférieure à 0,30 cm ne doivent pas être considérés, comme par ailleurs les arbres morts au abattus, la litière, la matte et la biomasse sous la surface du sol. Les relevés spéciaux comme ceux qui répertorient les déchets de coupe, la végétation inférieure, la tourbe et les combustibles liés aux feux de forêts, etc., peuvent inclure des matériaux de cette catégorie, mais ils débordent le cadre de ce manuel. Les équations de l'arbre utilisées pour déterminer la biomasse des parties marchandes et non marchandes de la tige sont traitées séparément. Les propriétés désirées des équations de la biomasse de l'arbre, qui sont examinées ci-dessous, visent les arbres et les arbustes dont le diamètre est de 0,1 cm ou plus.

2. Propriétés des équations de la biomasse de l'arbre

Pour obtenir de bons résultats avec les équations de biomasse dans les inventaires, le modèle doit être vraisemblable, efficace et pratique et qui peut être soumis à un examen statistique rigoureux. La vraisemblance se rapporte aux propriétés géométriques des solides et à leurs dimensions et indique à quel point les équations sont utiles, compte tenu de toute gamme prévue de données. L'équation produit-elle des résultats absurdes comme une biomasse négative? La biomasse diminue-t-elle à mesure que D ou H augmentent? L'efficacité concerne l'exactitude des équations, la réduction des biais au minimum et l'équilibre à garder entre ce que coûterait la mesure de variables d'arbre additionnelles et ce que l'on gagnerait en exactitude. Par praticabilité on entend surtout la facilité d'utilisation et la flexibilité lorsqu'on tente d'obtenir de l'information complémentaire à partir des équations. La rigueur statistique indique à quel point les données échantillonnées sont représentatives de la population inventoriée et dans quelle mesure les hypothèses sous-jacentes à la construction des équations de biomasse sont prises en considération.

Les questions d'échantillonnage ont déjà été traitées. Les autres exigences sont décrites en fonction des quatre propriétés souhaitées pour les équations.

a. Fondements géométriques

À mesure que la circonférence et la hauteur des arbres augmentent, il doit en aller de même pour le volume et la biomasse dans la plupart des cas. En conséquence, les équations utilisées pour estimer le volume ou la biomasse doivent refléter de façon réaliste ces tendances. Lorsque H ou D se rapprochent de zéro, V et la biomasse doivent le faire également, si l'on garde une marge pour les cas où D se situe à une hauteur de 1,30 m. Le tracé du rapport entre V ou la biomasse et D ou H seuls peut être courbe mais devrait être régulier et s'élever de façon monotone (sans sauts ou inflections). Comme on l'a déjà dit, les arbres ou les arbustes dont la hauteur est inférieure à 1,30 m présentent certains problèmes qu'il vaut mieux traiter séparément et qui, par conséquent, débordent le cadre des équations de la biomasse de l'arbre.

La tige d'un arbre, qui comprend la souche et le fin bout, constitue généralement 70 % ou plus du volume ou de la biomasse de l'arbre (Alemdag, 1984b; Ker, 1984). La tige, particulièrement celle des arbres à ramification excurrente, peut être considérée comme un solide géométrique. En se servant de ce concept, les premiers spécialistes de la dendrométrie ont modélisé le volume de l'arbre en le considérant soit globalement comme un cylindre, un cône, un paraboloïde ou un néloïde, soit en parties constituantes désignées troncs (Alemdag, 1978). La forme d'un arbre excurrent est facilement représentée, le fin bout étant un cône, le milieu, le tronc d'un paraboloïde, et la souche avec un certain contrefort, un néloïde. Le volume des quatre solides est exprimé par une équation de la façon suivante:

Cylindre	$V=(\pi)(D/2)^2L$	[3]
Paraboloïde	$V=(\pi/2)D/2)^2L$	[4]
Cône	$V=(\pi/3)(D/2)^2L$	[5]
Néloïde	$V=(\pi/4)(D/2)^2L$	(6)

où V est le volume total brut de la tige, D le diamètre à hauteur de poitrine avec l'écorce, et L la longueur (ou la hauteur) de la figure géométrique.

Les spécialistes de la dendrométrie ont proposé que l'arbre soit généralement représenté par l'équation suivante:

$$V = K D^2H \qquad (7a)$$

où K combine pi/4 et un facteur de forme moyenne (f), et H est la hauteur totale de l'arbre équivalente à la longueur. De plus, l'équation peut être exprimée par une équation linéaire sous la forme suivante:

$$y = a(x) \qquad (7b)$$

où V est remplacé par y, D^2H par x. Les chercheurs pouvaient utiliser les techniques de régression linéaire pour estimer le coefficient a (qui représente K) et obtenir le facteur de forme moyenne. La technique a également permis aux chercheurs d'évaluer avec quelle exactitude on pouvait employer D et H pour estimer V. De même, les variations de la forme d'une essence à l'autre selon le site, l'âge, la densité du peuplement, la situation géographique et d'autres facteurs ont pu être examinées. Il était possible de comparer l'exactitude du modèle à celle d'autres modèles qui, par exemple, n'utiliseraient que la valeur de D.

Le modèle 7a est intuitivement attrayant parce qu'il s'appuie sur une solide base géométrique et que l'équation passe par l'origine lorsque D ou H se rapproche de zéro. Un arbre dont D = 0 et H = 1,30 m aurait en fait un volume mesurable, mais ce dernier n'est pas significatif dans la plupart des applications de mesurage du volume des arbres. Dans le contexte de la dendrométrie, on appelle ce modèle l'équation du volume du peuplement (Husch et collab., 1982), la variable combinée ou l'équation du facteur de forme constante (Spurr, 1952). Certaines variations du modèle comprennent une ordonnée à l'origine:

$$V = a + b(D^2H) \qquad (8)$$

où a est l'ordonnée à l'origine et b le coefficient de pente, mais le modèle peut produire de petits volumes négatifs pour de petits arbres. Cependant, il est à remarquer que lorsqu'on construit des équations pour estimer la biomasse totale (ou le volume) sur une superficie déterminée, le modèle 8 peut être plus exact en définitive. Les petites valeurs négatives seront compensées par des valeurs positives plus grandes pour donner des estimations valables non biaisées. On a utilisé encore d'autres variations du modèle 7a, dans lesquelles sont évalués les exposants liés à D et à H:

$$V = a\, D^b\, H^c \qquad (9a)$$

Cette équation peut être convertie en modèle linéaire à l'aide de la transformation logarithmique:

$$\ln(V) = \ln(a) + b\ln(D) + c\ln(H) \qquad (9b)$$

où ln(V) devient la variable dépendante (y) dans la régression, ln(D) et ln(H) deviennent deux variables indépendantes (x), et ln(a), b et c sont les coefficients de la régression. Ce modèle, que l'on désigne parfois par le terme d'équation allométrique, est souvent utilisé pour estimer la biomasse. Le modèle peut produire des estimations biaisées (Baskerville, 1972; Payandeh, 1981) à cause des transformations logarithmiques et comporte d'autres inconvénients qui seront examinés plus loin.

Honer (1967) base son équation de volume sur un réarrangement du modèle 7a:

$$V = D^2/(a + b\,(1/H)) \qquad (10)$$

Les raisonnements qui précèdent au sujet de l'estimation du volume des arbres, ainsi que les modèles qui en découlent, peuvent servir à mesurer la biomasse en utilisant le rapport stable entre le volume du bois et la biomasse anhydre. Le rapport s'appuie sur la densité du bois sec, qui demeure relativement constante pour une essence donnée et les composantes d'arbre. De nombreux travaux publiés fournissent des valeurs de densité pour différentes espèces d'arbres et d'arbustes ainsi que pour les composantes d'arbre. Étant donné la stabilité du rapport, ce qui s'applique à la modélisation du volume vaut relativement bien aussi pour la biomasse. Les modèles 7a à 10 peuvent être énoncés de nouveau de la façon suivante:

$$MA = a\,D^2H \qquad (11)$$
$$MA = a + b\,D^2H \qquad (12)$$
$$MA = a\,D^b\,H^c \qquad (13)$$
$$MA = D^2/(a + b(1/H)) \qquad (14)$$

où MA représente la biomasse anhydre de l'arbre entier ou de ses composantes.

Il a été établi que d'autres variables comme la longueur, le diamètre et la projection de la cime pouvaient améliorer l'exactitude des estimations des composantes de la cime, quoique de façon peu marquée. En général, l'investissement additionnel du temps et de l'argent n'est pas justifié par le gain obtenu en exactitude (Anon., 1982). De plus, les inventaires passés ou existants ne comprennent généralement pas de telles variables, ce qui les rend par conséquent peu pratiques.

Or, H n'est pas toujours déterminé et on devra alors estimer cette valeur à partir des équations hauteur/diamètre ou ne pas l'utiliser. Cunia (1979) et d'autres ont montré que le rapport parabolique entre MA et D est efficace:

$$MA = a + bD + cD^2 \qquad (15)$$

Ce modèle donne de bons résultats, à condition que la gamme totale des diamètres soit bien représentée dans l'échantillon utilisé pour construire les équations. Dans le cas contraire, les modèles paraboliques et d'autres modèles polynomiaux produisent des résultats erratiques au-delà de l'étendue des données, notamment à l'extrémité inférieure. Cette situation peut conduire à une masse négative avec un diamètre décroissant comme l'illustre la figure 5. Le modèle a cependant un rôle important à jouer lorsque les arbres sont petits et très nombreux, et que la mesure de H, en plus de celle de D, n'est pas réalisable ou efficace. Le diamètre des petits arbres peut être obtenu rapidement ou classé avec des calibres ou des appareils de mesure (Anon., 1982). Par contre, la hauteur est plus difficile à déterminer dans ces cas. L'ordonnée à l'origine est fréquemment retenue pour les petits arbres parce que la biomasse d'un arbre dont D est nul devient une proportion plus importante du total.

b. Hypothèses de régression

Pour que la technique de régression puisse produire des estimations de biomasse ainsi qu'une mesure du degré d'exactitude ou d'ajustement valables, il faut tenir compte de plusieurs hypothèses sous-jacentes au modèle de régression:

Hypothèse 1. La régression de y sur $x_1 \ldots x_m$ est de forme linéaire:

$$y = b_1.x_1 + b_2.x_2 + \ldots b_m.x_m$$

où b_1 à b_m sont des estimations des coefficients, y est la variable dépendante et x_1 à x_m sont des variables indépendantes.

Hypothèse 2. La variation des valeurs de y (ou les erreurs résiduelles autour de la fonction de régression) est constante sur l'étendue des valeurs de x. C'est l'hypothèse de variance égale ou d'homogénéité.

Hypothèse 3. Les valeurs-échantillons de y sont non corrélées.

Hypothèse 4. Les variables indépendantes $x_1 \ldots x_m$ sont déterminées et aucune variable x n'est une combinaison linéaire des autres.

Hypothèse 5. La distribution de probabilité de y (ou des erreurs résiduelles autour de la courbe) pour une série de $x_1 \ldots x_m$ donnée est normale.

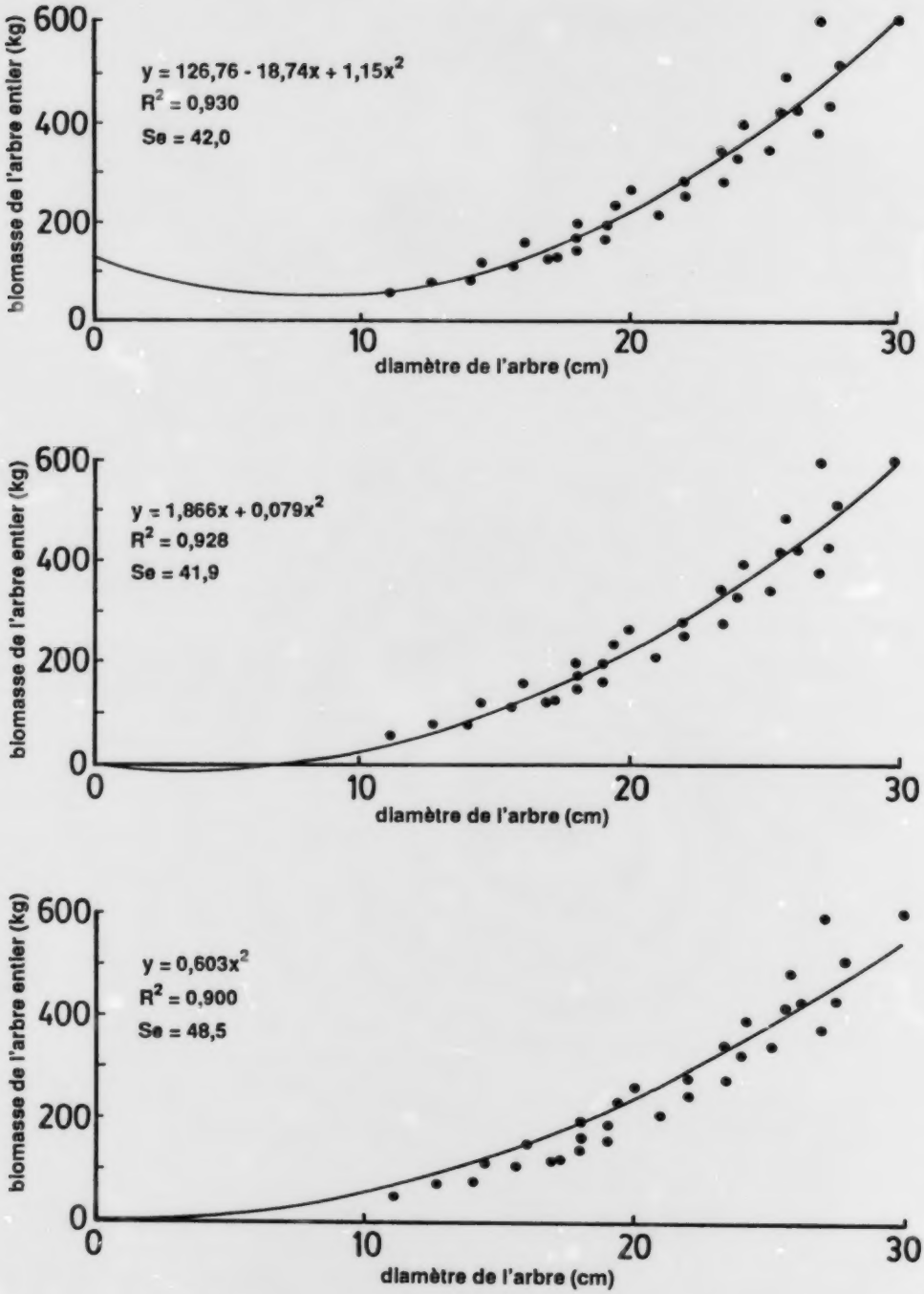

Figure 5. Trois modèles de la biomasse des arbres entiers ajustés pour le diamètre D de l'arbre. Les modèles en haut et au milieu de la page produisent des résultats irraisonnés à moins de 10 cm de D; le modèle au bas de la page est moins précis, mais produit de meilleurs résultats à moins de 10 cm.

Si l'on veut que les inférences soient strictement valables, il faut respecter des hypothèses qui ne sont pas présentées de façon explicite.

Par exemple, toutes les variables doivent être mesurées sans erreur. Cela signifie, par exemple, que l'utilisation de la relation hauteur/diamètre pour estimer la hauteur et l'emploi subséquent de la hauteur évaluée dans le modèle 11 pour évaluer la biomasse, pourraient contrevenir à cette hypothèse si les erreurs d'estimation deviennent trop importantes.

Il est généralement admis que l'on ne respecte jamais ou rarement de façon stricte les hypothèses susmentionnées. Les conséquences d'une «dérogation» aux règles sont examinées ci-dessous et, dans la mesure du possible, on offre un aperçu de certaines techniques de vérification du degré de violation des hypothèses pour que l'utilisateur puisse en corriger l'effet ou déterminer comment procéder.

L'hypothèse 1 précise que le rapport entre les variables dépendantes et indépendantes est linéaire. Des tendances non linéaires peuvent produire des biais importants dans les coefficients et dans les prévisions de la biomasse. Il faut prendre grand soin de détecter la non-linéarité et de restructurer le modèle pour l'éliminer. Une courbe de y sur chacun des x peut servir à vérifier la linéarité étape par étape (figure 6a). Une courbe des erreurs résiduelles autour de la régression de la valeur prévue de y peut également servir à déceler les tendances non linéaires qui n'ont pas été ajustées par le modèle (figure 6b). Dans ce cas, on peut juger du rendement du modèle dans son ensemble. Diverses transformations, comme celles décrites par Jensen (1964), peuvent être mises à l'essai pour éliminer les tendances non linéaires.

Le tracé des résidus peut également être utilisé pour vérifier l'homogénéité (hypothèse 2). Idéalement, les résidus devraient être répartis le long des valeurs y ajustées, de façon à ce que leurs écarts soient à peu près les mêmes sur toute l'étendue des données. Si la condition de variance égale n'est pas satisfaite, les estimations des coefficients par les moindres carrés demeureront non biaisées, mais les énoncés sur le degré d'exactitude ne seront plus valables. On peut parfois utiliser une transformation pour corriger le problème, mais il est plus courant de se servir des moindres carrés pondérés. Si l'écart-type des résidus augmente de façon à peu près proportionnelle à la variable x, l'utilisation du poids $1/x$ devrait égaliser la variation résiduelle. Si le modèle 11 est employé, le poids $1/D^2H$ est approprié. Il est intéressant de noter que, dans ce cas, en divisant par D^2H, le coefficient a reste tout seul du côté droit de l'équation. Comme on l'a déjà expliqué, a se compose de pi/4 et du facteur de forme f. Seulement f est variable, selon la forme de l'arbre moyen et l'on s'attendrait à ce que la variation de f soit petite et non fortement liée à la taille de l'arbre. Ceci expliquerait l'aptitude de ce système de pondération à améliorer l'égalité de la condition de variance. C'est une coïncidence que le même système de pondération soit aussi capable d'améliorer le degré d'exactitude du modèle 11 de biomasse pour les petits arbres. L'utilisation des moindres carrés pondérés pour contrôler l'hypothèse de la variance égale est traitée par Cunia (1986).

Quant à l'hypothèse 3, les valeurs échantillons de y ne seront pas en corrélation si les arbres individuels sont échantillonnés selon les règles fournies au chapitre II. Cependant, si l'on utilise l'échantillonnage par placettes, les arbres-échantillons dans une parcelle seront presque certainement corrélés et non indépendants, même en respectant les règles d'échantillonnage. Les grands arbres ont tendance à croître en association avec d'autres grands arbres dans un peuplement et vice versa. Concernant l'hypothèse 2, lorsque cette 3^e hypothèse est violée, le biais des estimations des coefficients par les moindres carrés se rapproche de zéro, mais il se peut que les énoncés de fiabilité des estimations ne soient pas valables. La réduction de la taille des grappes (ou blocs) et l'augmentation du nombre des unités d'échantillonnage permettent de réduire l'effet de cette violation. Dans certains cas, on peut trouver des façons de modifier la méthode des moindres carrés, mais cela exige l'intervention d'un statisticien spécialisé en échantillonnage et en modélisation de moindres carrés. Cunia (1979) et Johnston (1963) approfondissent la question.

Lorsque l'hypothèse 4 est violée, les méthodes des moindres carrés peuvent être utilisées, mais l'interprétation de certaines des inférences pourrait changer. Lorsqu'une variable x est une combinaison linéaire d'une autre, l'estimation des coefficients par les moindres carrés est impossible. Ce problème, que l'on appelle propriété de colinéarité, peut être vérifié en étudiant la corrélation ou les relations linéaires entre des paires de variables x. Lorsque survient une

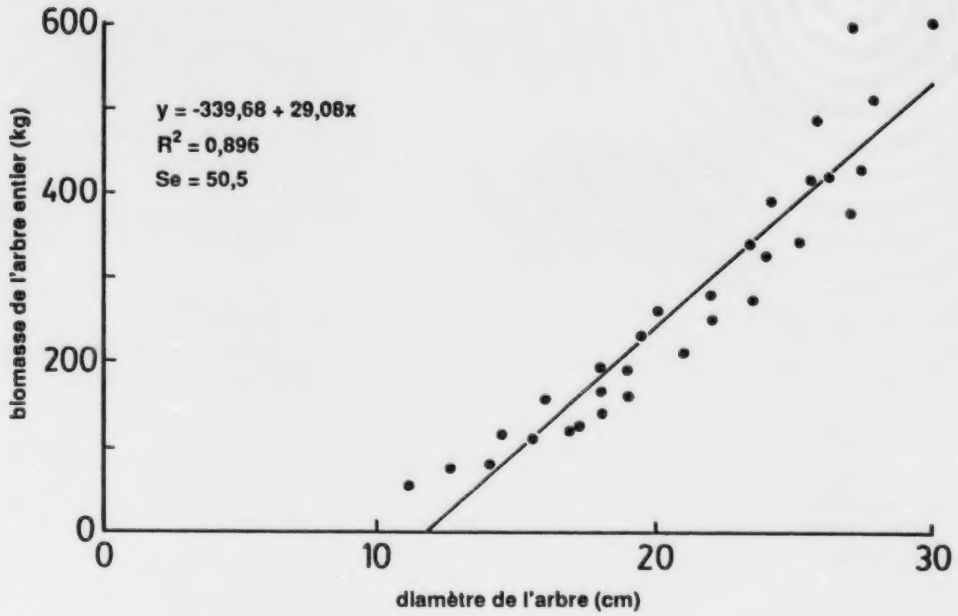

Figure 6a. Modèle linéaire ajusté pour les données non linéaires de la biomasse de l'arbre.

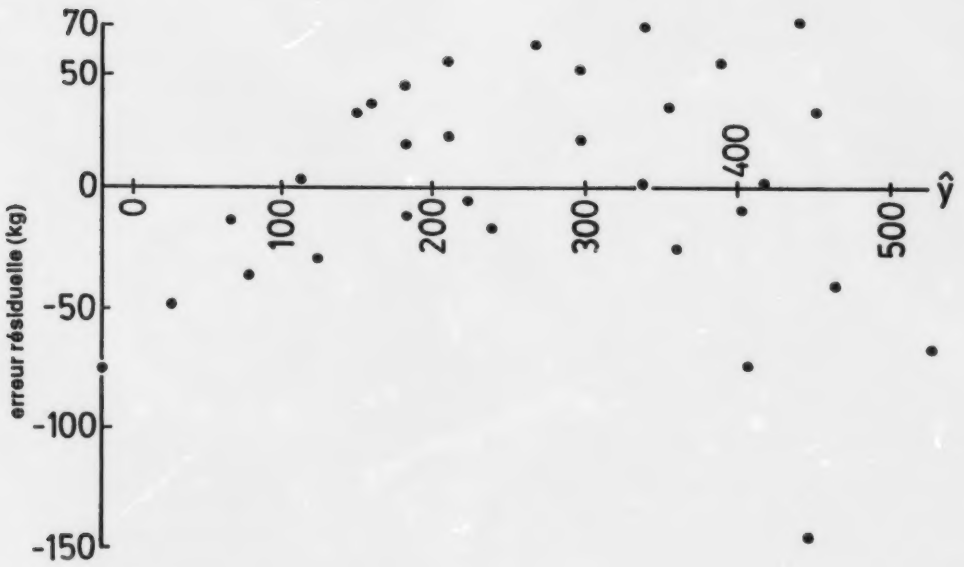

Figure 6b. Diagramme des erreurs résiduelles autour de la ligne de régression montrant l'effet de la non linéarité.

collinéarité, il faut éliminer l'une des variables du modèle.

L'hypothèse 5 exige que les mesures des variables aléatoires y soient statistiquement indépendantes et que la variable conditionnelle y pour un x donné soit distribué normalement. Cela revient à s'attendre à ce que les erreurs résiduelles autour d'une ligne de régression soient indépendantes et distribuées normalement à n'importe quel point donné le long de la courbe. Cette condition peut être vérifiée en traçant un histogramme des erreurs résiduelles pour un intervalle le long de la courbe et en confirmant que la forme de l'histogramme suit approximativement la distribution normale (figure 7). L'effet d'une non-normalité n'est généralement un problème que lorsque l'effectif de l'échantillon est petit. Dans un tel cas, l'effet s'observe surtout sur la fiabilité de l'intervalle de prédiction ou sur d'autres mesures de l'exactitude ou de la validité de l'ajustement. Si l'on respecte les cinq règles d'échantillonnage, la non-normalité n'est généralement pas un grave problème.

Les principales hypothèses de régression ainsi que les conséquences de leur violation sont approfondies dans les deux premiers chapitres de Johnston (1963).

Parmi les cinq principaux modèles de la biomasse, seul le modèle 13, soit l'équation allométrique, est susceptible de produire des estimations biaisées. Comme il a été indiqué, l'effet des biais peut être corrigé et doit l'être si l'on veut utiliser ce modèle. On peut s'attendre à ce que les modèles 11, 12 et 15 ne respectent pas l'hypothèse de variance égale. Cependant, l'utilisation des moindres carrés pondérés (où soit $1/D^2$, soit $1/D^2H$ servent de poids) permettra généralement de corriger le problème. Les modèles 11 et 12 devraient être vérifiés pour s'assurer de l'absence de toute tendance non linéaire. Un tracé des erreurs résiduelles autour de la régression ajustée peut être utilisé pour déceler de tels problèmes (figure 7b). Quant au modèle 15, s'il révèle des tendances non linéaires, ces dernières apparaîtront plutôt vers les extrémités, particulièrement l'extrémité inférieure.

c. Exactitude

Les définitions de l'exactitude, des biais et de la précision des mesures, ainsi que des estimations,

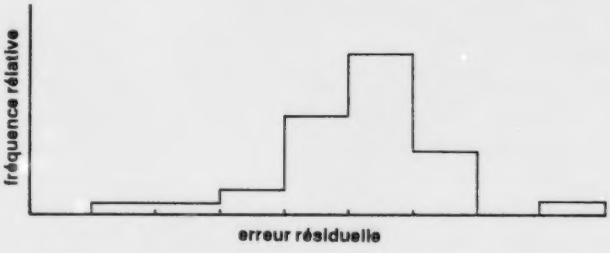

Figure 7. Histogramme approximatif de la distribution normale de l'erreur résiduelle autour de la régression. Le modèle parabolique (décrit en haut de la figure 5) fut utilisé.

ont été présentées et illustrées au chapitre II. Les équations de biomasse construites à l'aide des techniques de régression peuvent produire des estimations biaisées pour quatre raisons principales : (1) les données d'échantillonnage utilisées pour construire les équations n'étaient pas représentatives de la population à laquelle les équations sont appliquées; (2) l'hypothèse de linéarité sous-jacente à la régression n'a pas été respectée; (3) le modèle lui-même était biaisé; ou (4) des erreurs systématiques se sont glissées dans le processus de mesurage.

La première source de biais peut jaillir si la distribution des classes de dimension ou d'autres propriétés de la population diffèrent considérablement de celles du groupe qui a fourni les données d'échantillonnage. Par exemple, si les données qui proviennent d'une population comportant une concentration de petits arbres, mais peu de grands arbres, sont appliquées à un groupe surtout constitué de grands arbres, l'équation peut facilement produire des résultats biaisés à l'extrémité supérieure, ce qui pourrait avoir des conséquences radicales sur les estimations de la biomasse globale. C'est l'une des raisons pour lesquelles il faut respecter les cinq règles d'échantillonnage présentées au chapitre 2.

L'effet de la violation des hypothèses de linéarité a été traité à la section précédente.

En troisième lieu, le biais peut provenir des modèles eux-mêmes. Les estimations par quotient, par exemple, sont habituellement biaisées. Le modèle 13, soit la forme allométrique, peut être biaisé pour la simple raison que l'antilogarithme des valeurs logarithmiques moyennes ne correspond pas à la moyenne des valeurs non transformées. Le problème peut survenir lorsque la variable dépendante y est transformée à cause du rôle des erreurs résiduelles autour de la courbe qui détermine la façon dont le modèle est ajusté. Baskerville (1972), Madgwick et Satoo (1975), Nielsen et collab. (1979) et Anon. (1982) ont décrit des méthodes permettant d'éliminer le biais. On doit suivre fidèlement ces méthodes si le modèle 3 est utilisé.

En quatrième lieu, le biais peut provenir de ce qu'on a commis des erreurs systématiques de mesure de D ou de H. L'effet de ces erreurs est de hausser ou d'abaisser les estimations de biomasse de l'arbre ou de ses composantes, une conséquence qui se reflète ensuite dans les estimations portant sur toute la population. Les erreurs de mesurage peuvent provenir d'instruments mal réglés, de bévues commises par ceux qui les utilisent comme l'estimation erronée des arbres limitrophes de la placette, ou de mauvaises méthodes de mesure.

Après explication ou réduction des erreurs systématiques, il se peut que la composante aléatoire de l'erreur qui compromet l'exactitude persiste toujours. Comme il a été expliqué plus tôt, les erreurs aléatoires peuvent provenir tant du procédé de mesurage que de l'équation. Lorsque le problème des erreurs de mesurage a été réglé, l'exactitude des équations peut être jugée en termes de plusieurs mesures de précision ou de validité de l'ajustement qui sont décrites ci-dessous.

Lorsqu'on compare l'exactitude d'une équation de la biomasse avec celle d'une autre, on utilise généralement trois statistiques pour exprimer la précision prévue de la prédiction. Ces statistiques sont : le coefficient de corrélation (coefficient de corrélation multiple ou coefficient de détermination), l'erreur résiduelle autour de la régression et l'intervalle de prédiction. Le coefficient de corrélation est utile pour comparer des modèles mis à l'épreuve avec les mêmes données, mais perd sa signification lorsqu'on s'en sert pour opposer deux séries différentes de données, car il est sensible à l'étendue des données. L'erreur résiduelle exprime bien la précision de la régression dans sa totalité, mais n'indique pas le degré d'exactitude pour des classes de dimension particulières. De plus, il est impossible de comparer l'erreur résiduelle de variables transformées avec celle des variables non transformées correspondantes. L'intervalle de prédiction exprime le degré d'exactitude pour des valeurs particulières des variables indépendantes et, par conséquent, indique le degré d'exactitude pour des classes de dimension données, mais il ne fournit pas à première vue le degré d'exactitude du modèle dans son ensemble. De même, l'intervalle de prédiction ne donne pas de bons résultats avec les variables transformées. L'erreur-type et l'intervalle de prédiction permettent de mesurer efficacement le degré d'exactitude quand on les emploie ensemble. Ils peuvent servir à évaluer le degré d'exactitude de différents modèles de mesure de la biomasse des arbres comme les cinq modèles courants déjà décrits. Evert (1985) présente une variation de la méthode de l'erreur résiduelle qu'il a désignée erreur quadratique moyenne. La mesure est calculée comme la moyenne des différences au carré entre les valeurs observées et estimées de la biomasse. Les valeurs transformées peuvent être reconverties à la forme non transformée, et l'erreur quadratique moyenne calculée. On peut également utiliser la moyenne des différences pour déceler la possibilité d'un biais.

Si l'un des modèles est reconnu comme une source majeure d'erreurs dans une certaine partie de son étendue, par exemple aux valeurs extrêmes (surtout inférieures), on peut utiliser des plans de pondération pour améliorer l'exactitude. L'effet de la pondération est d'attribuer une plus grande importance à une section particulière de la distribution des classes de dimension, qui est mal ajustée, pour en améliorer l'ajustement. Un moyen courant d'attribuer une plus grande importance aux petits arbres, dans le modèle 11 par exemple, consiste à effectuer une pondération proportionnelle à l'inverse de D^2H et à employer la régression des moindres carrés pondérés. L'effet est clairement illustré par Evert (1983). La théorie et l'application de la régression des moindres carrés pondérés sont approfondies par Cunia (1986).

d. Additivité

Les équations d'estimation de la biomasse sont nécessaires pour évaluer la biomasse des com-

posantes d'arbre déjà définies en plus de la biomasse de l'arbre entier. De plus, il est généralement souhaitable que la somme des biomasses des composantes individuelles des arbres soit égale à la biomasse totale indépendante des arbres entiers. C'est la propriété dite d'additivité. Une série d'équations pour l'arbre entier et ses composantes ne satisfait cette exigence que si la somme des coefficients des composantes individuelles est égale aux coefficients correspondants de l'arbre entier de la façon suivante :

$$y_1 = a_1 + b_1 x \quad (16a)$$
$$y_2 = a_2 + b_2 x \quad (16b)$$
$$y_3 = a_3 + b_3 x \quad (16c)$$
$$y_4 = a_4 + b_4 x \quad (16d)$$
$$y_t = \Sigma a_j + \Sigma b_j x \quad (16e)$$

où $y_1 \ldots y_4$ sont les estimations de la biomasse des composantes, $a_1 \ldots a_4$ et $b_1 \ldots b_4$ sont les coefficients de régression des composantes, $x = D^2H$ pour un arbre, et y_t est la biomasse de l'arbre entier.

La condition d'additivité est valable seulement, si tous les critères suivants existent: les mêmes variables indépendantes sont utilisées dans chaque équation; les variables transformées sont linéaires; et toutes les équations sont ajustées au moyen des mêmes observations. Les transformations non linéaires, comme la transformation logarithmique, dérogent à la condition d'additivité. La propriété d'additivité est expliquée par Kozak (1970) et Chiyenda et Kozak (1984). Cunia et Briggs (1984, 1985), qui ont présenté une analyse formelle du problème, proposent des méthodes visant à assurer l'additivité même lorsqu'on utilise des termes différents dans les équations de composantes. Ces auteurs traitent à fond de la question, mais vont au-delà des besoins immédiats de la plupart des inventaires.

Comme certaines équations qui ne possèdent peut-être pas la propriété d'additivité sont particulièrement utiles, surtout pour une certaine composante, il n'est pas toujours judicieux d'insister sur le facteur d'additivité. Celle-ci doit être considérée comme une propriété souhaitable à cause de sa contribution à la cohérence interne.

3. Évaluation des équations utilisées couramment

Une liste complète des équations de biomasse a été produite par Stanek et State (1978). Les équations énumérées couvrent les principales essences canadiennes ainsi que de nombreux arbustes.

Ces équations servent à calculer la biomasse de l'arbre entier ainsi que de ses composantes. Elles comprennent plus de 30 variables d'arbres indépendantes et un grand nombre de formes de modèles. Les équations construites au Canada depuis 1978 dans le cadre de l'ENFOR sont énumérées à l'annexe F.

Les équations qui ont été le plus couramment utilisées sont indiquées au tableau 2. En général, il s'agit des équations les plus simples n'employant que D ou H ou les deux comme variables indépendantes. L'utilisation d'autres variables est généralement survenue dans des études particulières caractérisées par des exigences ou des conditions spéciales. De tels modèles ne donnent habituellement pas de bons résultats en dehors des conditions dans lesquelles ils ont été mis au point et ne s'appliquent donc pas dans la plupart des cas.

Les équations du tableau 2 ont été examinées relativement aux propriétés souhaitables susmentionnées, et les pires cas sont éliminés. Le modèle 1 a été rejeté parce que la relation entre la masse et D se révèle généralement non linéaire. On doit faire preuve de prudence avec les modèles 5, 6, 9 et 10 en raison des résultats biaisés qu'ils

Tableau 2. Equations de la biomasse de l'arbre entier ou de ses composantes utilisées couramment

Modèle	Description
1. $OM = a + b\,D$	linéaire simple
2. $OM = a + b\,D^2$	surface terrière
3. $OM = a + b\,D + c\,D^2$	parabolique
4. $OM = b\,D + c\,D^2$	parabolique par l'origine
5. $\ln(OM) = a + b \ln(D)$	allométrique D
6. $\ln(OM) = a + b \ln(D^2)$	allométrique D^2
7. $OM = a + b\,D^2H$	variable combinée
8. $OM = b\,D^2H$	variable combinée par l'origine
9. $\ln(OM) = a + b \ln(D) + c \ln(H)$	allométrique D et H
10. $\ln(OM) = a + b \ln(D^2H)$	variable combinée allométrique

peuvent produire s'ils ne sont pas corrigés (Baskerville, 1972; Payandeh, 1981) et parce que la condition d'additivité est difficilement réalisable. Parmi les modèles restants, les numéros 3 et 4 (la forme parabolique) ont donné les résultats les plus fiables lorsque D est la seule valeur utilisable. La variance égale et d'autres hypothèses sous-jacentes à la régression devraient tenir à condition d'utiliser les moindres carrés pondérés. S'il manque des données pour les petits arbres, il faut utiliser de préférence les modèles 2 ou 4 afin d'éviter les résultats erratiques quand D se rapproche de zéro. Lorsqu'il existe des données sur la hauteur, les modèles 7 ou 8 permettent d'obtenir un peu plus d'exactitude (formes à variables combinées). Le modèle 8 est particulièrement attrayant parce qu'il est bien appuyé par des fondements géométriques et que la condition d'additivité est facilement satisfaite. Concernant la forme parabolique, le modèle 7 peut produire des valeurs aberrantes à l'extrémité inférieure s'il y a peu de données sur les petits arbres. La figure 6 illustre ce qui peut se produire à l'extrémité inférieure et montre l'utilité du modèle 2 dans un tel cas. En résumé : si seulement D est connu, il faut utiliser le modèle parabolique (modèle 3) et fixer a à zéro dans le cas où des estimations sont nécessaires lorsque D est près de zéro et que l'extrémité inférieure de la gamme de valeurs est mal représentée. Si l'on utilise des équations existantes, il faut s'assurer que les prévisions de la biomasse sont vraisemblables quand D s'approche de zéro. Si D et H sont connus, utiliser le modèle à variables combinées (modèle 7) et fixer a à zéro comme pour la forme parabolique, au besoin. Lorsque a est nul, le modèle permet d'établir facilement des rapports de masse de composantes. De plus, le modèle peut être incorporé à des processus d'échantillonnage par points pour l'estimation de la biomasse.

4. Évaluation des équations existantes

Avant de construire une nouvelle série d'équations de biomasse, il est préférable de consulter le procédé suivant qui pourrait aider à déterminer si une série d'équations existante suffira ou non. Voici la marche à suivre :

- Définir la population cible (la zone d'inventaire proposée).
- Déterminer les conditions ou la zone forestières auxquelles la série d'équations existantes s'applique.
- Comparer les régions géographiques et les types forestiers généraux pertinents relativement aux équations existantes et à la nouvelle région à l'étude. Les cartes montrant les aires de répartition des essences et des classifications forestières comme les régions forestières (Rowe, 1972) sont utiles. Il faut redoubler d'attention lorsque la région cible est proche de la limite de distribution d'une essence.
- Comparer, le mieux possible, la composition des essences et les classes de dimension, les classes de site et la distribution des hauteurs dans les peuplements forestiers concernés.
- Lorsque l'appariement est médiocre ou discutable, ne pas utiliser les équations ou se préparer à les mettre à l'essai de la façon décrite ci-dessous.
- S'assurer que l'équation existante est l'une de celles recommandées au tableau 1. Dans le cas contraire, ne pas l'utiliser, mais déterminer si les données employées pour construire les équations originales sont accessibles. Dans l'affirmative, et si la population où la série de données a été prélevée correspond assez bien à celle de la région cible, construire une nouvelle série d'équations à l'aide des méthodes décrites à la section suivante. Si la correspondance est faible, rejeter les données existantes, préparer la collecte de nouvelles données d'échantillonnage et élaborer une nouvelle série d'équations selon les méthodes décrites à la section suivante.
- Si les équations existantes ne semblent pas encore suffisamment appropriées, une petite quantité de nouvelles données doit être recueillie et comparée aux équations existantes. Une comparaison peut être réalisée très efficacement en inscrivant d'un côté la biomasse des arbres à l'étude, et de l'autre les estimations correspondantes obtenues à l'aide des équations et les mesures de D et de H des arbres-échantillons. Une analyse des différences permettra de déceler les biais et les tendances liés à la taille de l'arbre. Cinq exemples tracés à la figure 8 illustrent quelques-unes des possibilités. Chaque graphique montre les différences entre la biomasse estimée à partir de l'équation n qui utilise D et H et celle mesurée sur le terrain (ordonnée), tracée en fonction de la taille des arbres et exprimée en termes de biomasse prévue (abscisse). Ces graphiques sont la contrepartie du tracé des résidus à la figure 6b. La courbe 9a est l'exemple d'un bon ajustement, caractérisé par peu ou point de biais, aucune tendance de différences selon la taille des

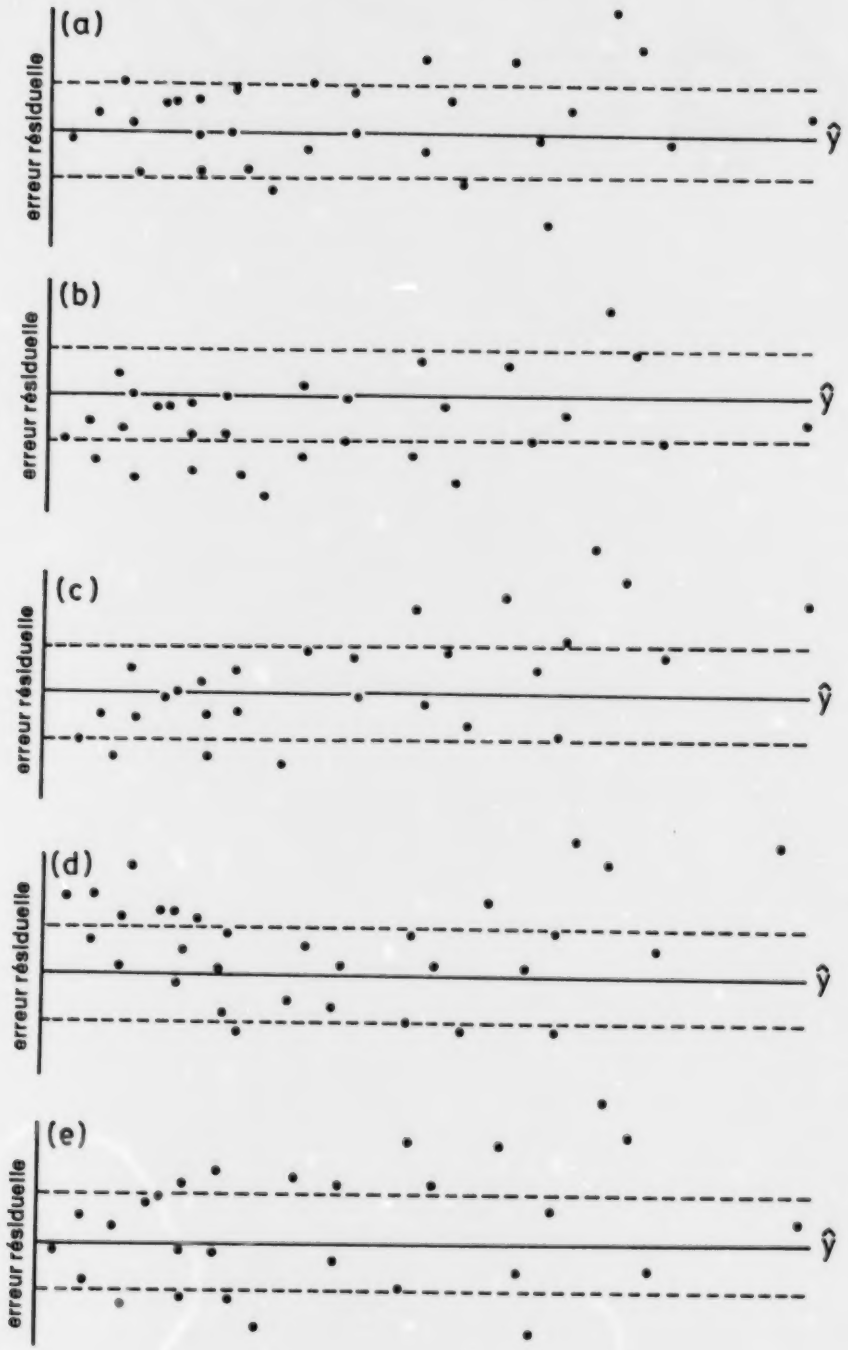

Figure 8. Utilisation de la courbe des résidus pour déceler les anomalies du modèle. La ligne solide horizontale représente la ligne de régression et les lignes hachurées; ±1 écart-type des erreurs résiduelles: (a) cas normal, (b) biais positif, (c) changement de la taille des résidus, correspondant à la grandeur de l'arbre, (d) non-linearité, (e) manque de précision.

arbres et, exprimée en termes de biomasse, une bonne précision, car environ deux tiers des points s'inscrivent à moins d'un écart-type de l'horizontale, ce qui représente une erreur nulle. La courbe des résidus de la figure 8a est basée sur les données et le modèle montrés à la partie supérieure de la figure 5. La courbe 8b montre un biais positif dans les points, peu ou point de tendance avec la taille des arbres, ainsi qu'une précision moyenne. Toutefois, seulement 40 % des points se trouvent dans la bande d'un écart-type, une condition qui signale un rejet possible. La courbe 8 révèle un changement distinct dans l'erreur en fonction de la taille des arbres. L'équation ne donnerait pas de bons résultats aux valeurs extrêmes, ce qui annonce un rejet probable. Comme le tracé 8a, le tracé 8d ne révèle à peu près pas de biais, mais présente une tendance non linéaire en forme de J en fonction de la taille des arbres. Cette équation ne donne pas de bons résultats pour les valeurs proches du milieu de l'étendue des données et viole l'hypothèse de linéarité. Le tracé 8e, comme le tracé 8a, ne révèle pas de biais important ni de modification de l'erreur en fonction de la taille des arbres, mais il manque de précision. Seulement 40 % des points figurent dans la bande d'un écart-type, situation qui milite en faveur du rejet.

La décision d'utiliser ou de rejeter les modèles existants repose sur l'importance de l'erreur qui peut être tolérée. La marche à suivre qui précède permet de déceler et de rejeter les modèles présentant une grande distortion et offre des lignes directrices pour prendre des décisions concernant les cas limites. Si sont rejetées, les équations existantes les données d'essai (si elles sont jugées fiables) peuvent être combinées à de nouvelles données pour construire une nouvelle série d'équations. Les protocoles à suivre dans ce cas sont décrits à la section suivante.

5. Construction de nouvelles équations

Les inventaires de biomasse pourraient nécessiter la construction d'une nouvelle série d'équations. Il se peut que, pour les raisons décrites à la section précédente, les équations appropriées n'existent pas ou que les équations disponibles ne soient pas pertinentes. On recommande de suivre les étapes suivantes lorsqu'il faut construire de nouvelles équations :

- Définir la population forestière à laquelle les équations seront appliquées.
- Lorsqu'elles existent, utiliser les cartes typologiques ou d'autres formes de classement des peuplements forestiers pour constituer des strates de classes d'essences et de dimensions (classes de volume, de diamètre ou de hauteur).
- En tenant compte des règles d'échantillonnage et des questions d'efficacité décrites au chapitre II, attribuer des poids aux strates afin d'assurer que les conditions importantes sont bien représentées. Généralement, la plus grande difficulté consiste à obtenir suffisamment d'échantillons des espèces très clairsemées ainsi que des classes de dimensions situées aux deux extrêmes du classement.
- Sélectionner des arbres ou de petites grappes d'arbres (placettes) selon les règles du sondage stratifié (Freese, 1962) ou, s'il n'y a pas de stratification, selon le plan d'échantillonnage aléatoire simple. On recommande de choisir de petites grappes plutôt que des grandes afin de minimiser la corrélation entre les arbres faiblement espacés.
- Pour la construction de chaque équation, on recommande la sélection d'au moins 30 arbres par essence.
- Comme la stratification ou l'utilisation d'autres données auxiliaires existantes ne résoudra peut-être pas le problème de l'échantillonnage adéquat des classes de dimensions situées aux deux extrêmes du classement, la sélection d'échantillons au hasard peut être étendue pour compléter les classes sous-représentées. Avec cette option, on prend certaines libertés par rapport aux règles d'échantillonnage, mais, en employant la sélection au hasard, les estimations des coefficients ne devraient pas être fortement biaisées, et la fiabilité des équations est améliorée aux extrémités. Il devrait en résulter une distribution assez uniforme des échantillons dans les classes de hauteur et de densité.
- Lorsque les arbres sont choisis, on mesure et on consigne les valeurs de D et de H, et on recueille les données de biomasse selon les procédés utilisés sur le terrain et en laboratoire qui sont décrits au chapitre II.
- Les variables indépendantes (D et H) et les variables dépendantes (biomasse de l'arbre entier et de quatre de ses composantes) sont groupées par essence et préparées pour

l'analyse de régression. Cette analyse doit être effectuée au moyen d'un des programmes statistiques qui sont exécutés à l'aide d'un grand ordinateur, d'un mini-ordinateur, d'un ordinateur personnel ou d'une calculatrice de poche. Chaque programme comporte son propre mode d'introduction et de mise en forme des variables dépendantes et indépendantes. Le logiciel doit être capable d'effectuer des régressions linéaires multiples, de transformer des variables (logarithmes, valeurs exponentielles, carrés, etc.), de tracer des graphiques de résidus comme ceux illustrés aux figures 7 et 9, mais aussi, de préférence, des histogrammes d'erreurs résiduelles comme à la figure 8. Le logiciel doit pouvoir fournir des estimations des coefficients, des estimations de la variance des coefficients, le coefficient de corrélation, le coefficient de détermination ou R carré, l'erreur-type de l'estimation de la régression, les intervalles de confiance de la régression et l'intervalle de prédiction. La matrice de corrélation est également utile pour examiner la corrélation entre des paires de variables.

- Dans le cas des arbres dont D est égal ou supérieur à 5,1 cm, il faut effectuer les régressions par essence pour la biomasse de l'arbre entier et celle de chacune de ses quatre composantes au moyen de l'un des modèles recommandés. L'équation de biomasse de l'arbre entier doit correspondre au résultat obtenu en additionnant les coefficients correspondants des équations des composantes. La sélection du modèle doit se faire en dépendant du fait que l'on utilise ou non la hauteur de l'arbre et quelle est l'importance de la représentation du cas extrême des petits arbres. Utiliser un modèle sans ordonnée à l'origine si les classes de dimensions proches de D = 5,1 cm ne sont pas bien représentées.
- Pour les arbres dont D varie entre 0,1 et 5,1 cm, employer le modèle parabolique avec l'ordonnée à l'origine. Cette dernière est nécessaire étant donné qu'un arbre dont D est nul a quand même une certaine biomasse positive.
- Vérifier les équations paraboliques pour s'assurer que la biomasse ne diminue pas avec l'accroissement de D et ce, sur toute l'étendue de sa variation. Une courbe de la masse en fonction de D constitue la vérification la plus aisée. Si l'on décèle une baisse, éliminer le terme linéaire et repasser la régression. Cette situation est l'équivalent du modèle de surface terrière au tableau 1 (voir aussi la partie inférieure de la figure 5). Il n'est pas nécessaire de vérifier sous cet aspect l'équation à variables combinées qui utilise D et H.
- S'assurer qu'aucune équation ne produit de valeurs négatives et ce, sur toute l'étendue de sa variation, particulièrement lorsque D ou H se rapprochent de zéro. Si l'on obtient une biomasse négative, éliminer la constante (ordonnée à l'origine) et repasser la régression.
- S'assurer que les erreurs résiduelles sont distribuées à peu près normalement, en utilisant une courbe d'histogramme (figure 7). L'échantillonnage au hasard garantira généralement une quasi-normalité à condition que l'effectif des échantillons soit assez important.
- S'assurer que l'hypothèse de variance égale n'est pas gravement violée. En général, l'hypothèse est violée lorsque l'on utilise la régression normale des moindres carrés ordinaires avec les modèles de biomasse. Les moindres carrés pondérés permettent habituellement de surmonter le problème lorsque les poids sont inversement proportionnels soit à DH (modèles à variables combinées), soit à D (modèle parabolique). Cunia (1986) examine les fondements de la méthode des moindres carrés pondérés.
- Dans les cas où une essence est rare dans la population et il est impossible de représenter ses classes de dimensions de façon appropriée, les données sur cette essence doivent être combinées à celles d'une autre espèce dont la forme et la distribution des classes de dimensions sont semblables. L'équation «combinée» est alors utilisée pour deux espèces ou plus dans le groupement. La similitude de forme peut être jugée subjectivement ou, dans le cas des essences particulièrement importantes, on peut évaluer la forme moyenne de la façon décrite à la section 2 de ce chapitre et combiner les données sur la base de valeurs semblables.

Les équations devraient maintenant être applicables à un inventaire de biomasse.

6. Intégration des normes de qualité marchande

Les équations de l'arbre examinées jusqu'à présent sont axées sur l'estimation de la biomasse de l'arbre entier ainsi que de ses quatre principales composantes. Cependant, un problème courant

d'inventaire est l'estimation des quantités de biomasse restantes après l'extraction des produits forestiers traditionnels – les billes de sciage, le bois de perchis, les pilotis, les billes de déroulage, le bois à pâte, les pieux, etc. Afin d'évaluer de tels résidus de biomasse, il faut diviser la biomasse de la tige en partie marchande et en partie non marchande ou résiduelle. Pour ce faire, il faut appliquer les normes de qualité marchande régissant les longueurs et le diamètre minimals des produits à ce qui peut être extrait de la tige. La figure 9 indique les normes de qualité marchande utilisées couramment. Les normes précisent généralement une hauteur de souche qui exclut généralement la souche comme composante marchande, une valeur de D minimale qui exclut les arbres trop petits pour donner des produits utilisables ainsi qu'un diamètre minimal au fin bout qui exclut l'extrémité supérieure inutilisable de l'arbre. Quelquefois on prescrit une longueur minimale de tige utilisable, qui est une hauteur minimale jusqu'au diamètre du fin bout (figure 9).

La mise au point de modèles utilisés pour évaluer les composantes marchandes de la tige suit une approche décrite pour la première fois par Honer (1967) à propos du volume marchand de l'arbre et modifiée plus tard pour l'adapter au système métrique (Honer et collab., 1983) et au cas de la biomasse (Alemdag, 1982a). L'adaptation d'Alemdag a donné des équations qui permettent d'évaluer la proportion de biomasse de la tige constituée par le fin bout, la souche et les sous-composantes marchandes de cette tige. Les proportions, exprimées en pourcentage de masse anhydre de la tige, sont utilisées pour évaluer la biomasse de bois marchand, d'écorce marchande, de bois et d'écorce du fin bout, et de bois et d'écorce de souche. On utilise des équations pour évaluer les pourcentages. Des séries distinctes d'équations sont employées pour des cas où le diamètre minimal du fin bout est une contrainte ou, autrement, quand la hauteur jusqu'à un diamètre minimal du fin bout est une contrainte. Des séries distinctes d'équations servent également à évaluer la biomasse de la souche lorsque la hauteur de cette dernière est le facteur limitant. Chaque cas peut être traité par un de trois modèles recommandés par Alemdag (1982a). Les modèles et leur logique sous-jacente sont résumés ci-dessous.

Cas du diamètre marchand au sommet de l'arbre : l'objectif est d'évaluer les proportions de la tige de l'arbre lorsque D et le diamètre minimal du fin bout avec l'écorce (Dm) sont connus. Le modèle s'appuie sur l'hypothèse que le rapport de Dm à D doit égaler le rapport du volume du fin bout au volume de la tige entière. On utilise un diagramme géométrique ainsi qu'un procédé à plusieurs étapes, décrit par Alemdag, pour obtenir le rapport de la biomasse de la partie marchande de la tige comme fonction du rapport Dm/D. Une courbe des données de l'échantillonnage a révélé une relation curvilinéaire bien définie qui, après l'essai de 10 modèles dont certains incluaient D et H, a indiqué que l'équation parabolique suivante était la plus efficace :

$$OM\% = a + b\,(Dm/D) + c\,(Dm/D)^2 \quad (17)$$

où OM% est le pourcentage de la biomasse de la tige comme bois marchand, écorce marchande, ou bois du fin bout avec l'écorce, puis a, b et c sont les coefficients estimés par la régression.

Cas de la hauteur marchande: un modèle semblable a été utilisé pour estimer le pourcentage de bois marchand, d'écorce marchande et de bois du fin bout avec l'écorce en termes de rapport de la hauteur entre le sol et le diamètre du fin bout (Hm) à la hauteur totale de l'arbre (H). Alemdag a mis quatre modèles à l'épreuve, dont certains incluaient D. Le meilleur modèle qui a émergé de ces essais est le modèle parabolique suivant :

$$OM\% = a + b\,(Hm/H) + c\,(Hm/H)^2 \quad (18)$$

Cas de la hauteur de souche: après le calcul du pourcentage de la partie marchande d'une tige jusqu'à un diamètre de fin bout donné ou une hauteur marchande, il faut déduire la souche pour obtenir un pourcentage marchand net. À cette fin, les valeurs moyennes du bois et de l'écorce de souche ont été obtenues, sous forme de pourcentage de la masse totale de la tige pour chaque essence, comme des moyennes arithmétiques des données recueillies à une hauteur de souche de 30 cm. Cependant, comme des valeurs à différentes hauteurs de souche sont nécessaires dans la pratique, on a effectué d'autres analyses pour déterminer ces déductions de pourcentage pour des hauteurs de souche, tous les 5 cm. On a procédé à cette opération en utilisant un rapport généralisé de diamètre de la souche/diamètre à hauteur de poitrine pour toutes les essences (Alemdag et Honer, 1977) et en considérant la souche comme le tronc d'un néloïde (Alemdag,

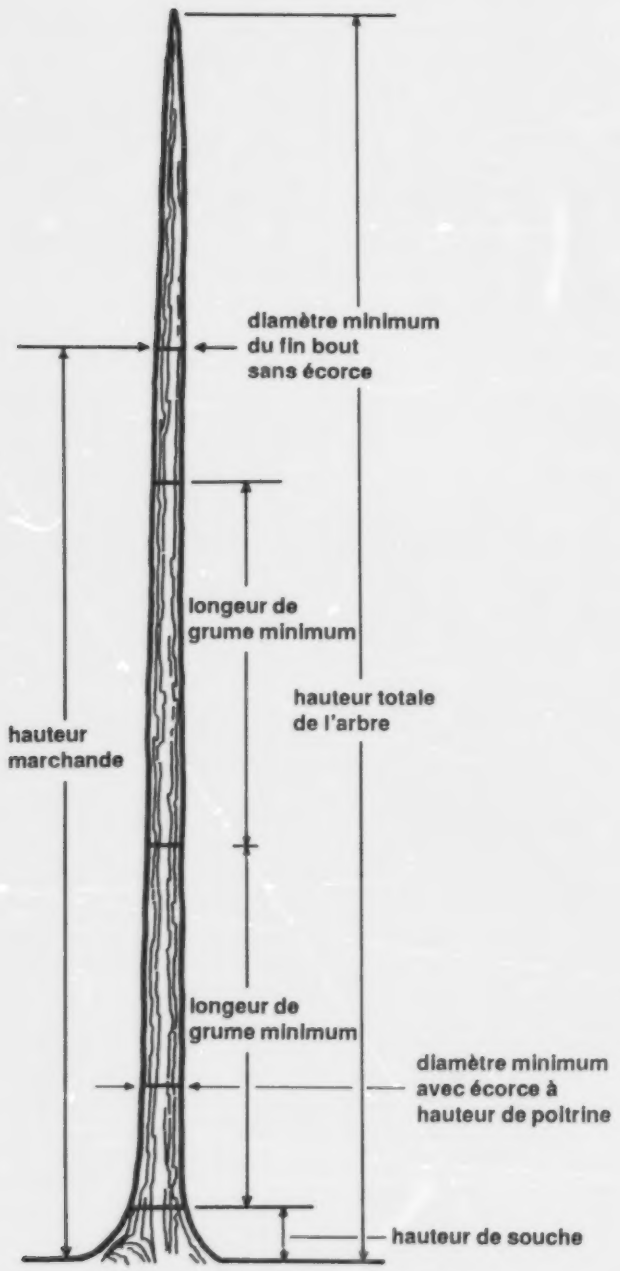

Figure 9. Diagramme des limites déterminant la définition de la partie marchande d'un arbre: diamètre minimum avec écorce à hauteur de poitrine, hauteur de souche, diamètre minimum du fin bout sans écorce, hauteur marchande et la longueur de grume minimum.

1978). Ces valeurs sont indépendantes de la taille d'un arbre.

7. Solutions de rechange pour les équations de l'arbre

Les équations de l'arbre examinées jusqu'ici doivent être utilisées lorsque l'on connaît les valeurs des essences individuelles, de D et peut-être de H. Ces équations peuvent aussi s'appliquer à des peuplements qui présentent des valeurs moyennes de D et de H de la même façon qu'elles s'appliquent aux arbres individuels. Si ces données n'existent pas, deux solutions de rechange sont à considérer. D'abord, si l'on possède des données sur le volume des arbres individuels, une conversion directe en biomasse d'arbre est possible. Deuxièmement, si l'on ne possède que des résumés ou des moyennes sur le peuplement, plusieurs types de conversion de peuplements peuvent être effectués. Comme on l'explique plus loin, il est peu probable que les conversions de peuplements soient fiables, et elles ne doivent servir qu'en dernier recours ou comme mesure temporaire.

a. Conversions de volume d'arbre

La conversion est basée sur l'utilisation du volume total ou d'une expression du volume du bois de la tige marchande combiné avec la densité de base du bois. Alemdag (1984a), par exemple, fournit des valeurs de densité de base du bois pour 18 feuillus et 10 résineux communs de l'est du Canada. Les équations de conversion peuvent se présenter sous la forme simple suivante:

$$MA = aV \qquad (19)$$

où MA est la masse anhydre, V est le volume total du bois de la tige, et a est le facteur de conversion équivalent à la densité du bois. Si la densité du bois varie avec la taille de l'arbre, le modèle peut être modifié pour prendre la forme suivante:

$$MA = bV^c \qquad (20)$$

comme l'a fait Singh (1984a). L'examen des tracés des équations indiquent que la courbure est légère et n'introduit qu'une erreur minimale. Singh (1984b) fournit des équations de conversion pour six espèces de résineux et de feuillus des prairies.

Lorsque la conversion en masse anhydre du bois de tige, y compris la souche et le fin bout, a été achevée, il est possible de calculer les autres composantes de l'arbre à l'aide des pourcentages de composantes. Par exemple, en utilisant les pourcentages de composantes d'Alemdag (1982c) pour le pin gris, avec un volume total de 0,696 m^3

Tableau 3. Biomasse des composantes après la conversion du volume total du bois de tige en masse anhydre

Composantes	Pourcentage du bois total de la tige	Masse anhydre (kg)
Bois de la tige	100,0	290,9*
Écorce de la tige	7,9	23,0
Branches vivantes	5,2	15,1
Rameaux et aiguilles	6,6	19,2
Arbre entier	119,7	348,2

*290,9 kg = 0,696 m^3 x 418 kg/m^3.

pour l'arbre sans écorce et une densité de base de 418 kg/m^3 pour le bois, on peut obtenir la biomasse des composante de la façon indiquée au tableau 3.

Si le volume marchand de l'arbre est donné à la place du volume total, certaines étapes supplémentaires sont alors nécessaires:

- Établir des normes de qualité marchande (hauteur de souche, diamètre du fin bout ou hauteur marchande).
- Déterminer la taille moyenne des arbres dans la région à l'étude. Si ce paramètre n'est pas connu, utiliser les équations de volume d'arbre marchand comme celles publiées par Honer et collab. (1983) pour rapprocher D du volume marchand donné et des normes de qualité marchande.
- Utiliser les équations de qualité marchande comme celles publiées par Alemdag (1982a), avec la valeur estimée de D et les normes de qualité marchande, pour déterminer les pourcentages de composantes du bois de tige marchand sans le fin bout et la souche, de l'écorce de tige marchande sans le fin bout et la souche, du bois du fin bout non marchand avec l'écorce et du bois de souche avec

l'écorce. La somme de ces résultats donne le bois de tige avec l'écorce.

Supposons un pin gris dont le volume d'arbre marchand est, par exemple, de 0,542 m^3, le diamètre du fin bout de 9,1 cm, et la hauteur de souche, de 30 cm. Selon Honer et collab. (1983), la valeur de D de l'arbre est d'environ 29 cm. En utilisant les équations de qualité marchande d'Alemdag (1982a), les proportions et la biomasse des composantes peuvent être obtenues de la façon indiquée au tableau 4.

Tableau 4. Biomasse des composantes après la conversion du volume de bois marchand de tige en masse anhydre

Composantes	Pourcentage du total du bois et de l'écorce de la tige	Masse anhydre (kg)
Bois de la tige marchand excluant le bois de la souche	86,2	226,6*
Écorce de la tige marchande excluant l'écorce de la souche	6,0	15,8
Bois du fin bout non marchand	2,6	6,8
Écorce du fin bout non marchande	0,2	0,5
Bois de la souche	4,2	11,0
Écorce de la souche	0,8	2,1
Total du bois et de l'ecorce de la tige	100,0	262,8
Branches vivantes (5,2 % du bois total de la tige)	4,8	12,6
Rameaux et aiguilles (6,6 % du bois total de la tige)	6,1	16,0
Arbre entier	110,9	291,4

*0,542 m^3 x 418 kg/m^3.

b. Conversions de volume de peuplements

En l'absence de données sur les arbres, il se peut qu'à l'occasion on ne puisse compter que sur des données de peuplement. Si le volume du peuplement est connu, on peut effectuer des conversions à l'aide de données sur la densité de base du bois comme celles utilisées à la section précédente, mais cette méthode comporte un risque d'erreur beaucoup plus élevé. Bien que les valeurs de densité du bois soient raisonnablement constantes à l'intérieur d'une essence, ainsi que parmi les différentes classes de dimensions à l'intérieur d'une essence, elles ne sont pas constantes entre les espèces et les combinaisons d'espèces, de classes de dimensions et de composantes d'arbre. Comme les données de peuplement sont habituellement des moyennes de valeurs recueillies dans des placettes-échantillons ou des estimations obtenues par l'interprétation de photographies aériennes, elles constituent presque toujours une intégration de nombreuses essences et de classes de dimensions et présentent des densités de peuplement variables. En conséquence, si la proportion des essences ou des classes de dimensions dans les peuplements qui fournissent les facteurs de conversion diffère des proportions observées dans les peuplements auxquels les facteurs doivent être appliqués, on peut s'attendre à un risque considérable de biais. La conversion directe des données sur le peuplement ne doit donc être utilisée qu'avec prudence et seulement comme bouche-trou.

S'il existe d'autres données sur le peuplement concernant la distribution des essences et des classes de dimensions, comme celles des tableaux de peuplement, on peut avoir recours à des mesures

qui réduisent les risques de biais. Alemdag (1982b), par exemple, décrit cinq techniques qui utilisent d'autres données existantes sur le peuplement comme la composition des essences, la distribution des diamètres et les proportions du peuplement qui ont été exclues d'estimations de volume de peuplement à cause d'une plus faible valeur de D et des limites de qualité marchande. L'approche consiste à rendre compte de certaines variations en produisant des estimations de biomasse, pondérées proportionnellement au nombre d'arbres présents par essence ou classe de diamètre, ou à utiliser des rapports pour tenir compte des composantes manquantes du peuplement. Cependant, si l'on connait la proportion des arbres dans un peuplement par essence et classe de diamètre, on peut utiliser des méthodes plus précises qui font usage des tableaux de peuplement. En guise d'exemple, on peut citer l'approche efficace décrite par Baskerville (1972) et désignée "technique de l'arbre moyen", dont l'application est expliquée par Hitchcock (1979). La technique est appliquée de la façon suivante :

- Obtenir un tableau de peuplement fournissant la fréquence des arbres par unité de superficie par essence ou groupe d'essences et par classe de diamètre, laquelle fréquence est représentative du peuplement pertinent. De tels tableaux sont un produit normal du processus de compilation de la plupart des inventaires forestiers volumétriques.
- Obtenir une série d'équations de l'arbre entier et de ses composantes pour l'essence étudiée.
- Pour chaque classe de diamètre et essence, utiliser les équations afin de déterminer les quantités de biomasse de l'arbre et de ses composantes.
- Multiplier ces quantités par la fréquence des arbres dans chaque cellule de classe de diamètre/essence.
- Faire la somme des quantités de biomasse par classe de diamètre et catégorie d'essence et additionner ces sous-totaux pour obtenir la biomasse totale du peuplement par arbre entier et par composante.

Ces étapes sont illustrées au tableau 5.

L'approche du tableau de peuplement peut aussi produire des résultats biaisés si les classes de diamètre sont trop grandes à cause de la variation de la densité du bois avec la taille de l'arbre (voir par exemple la figure 13 dans Ker, 1973) et, évidemment, si les équations de composantes ne représentent pas bien les peuplements étudiés. La difficulté de produire des estimations suffisamment exactes constitue un autre aspect négatif de l'approche du tableau de peuplement. De similaires approches de «rattrapage» sont examinées par Art et Marks (1971).

8. Tableaux auxiliaires

Les équations de biomasse de l'arbre sont les mieux adaptées au traitement informatique des données et aux applications faites au moyen d'une machine à calculer. Cependant, dans les cas où l'on ne dispose pas de calculatrice ni d'ordinateurs, les tableaux (et parfois les graphiques) sont un substitut pratique, particulièrement sur le terrain. Diverses formes de tarifs de cubage jouent depuis longtemps un rôle très utile dans ce secteur d'investigation. Ainsi, on peut avoir besoin de tableaux qui montrent divers rapports et prévisions concernant la biomasse de l'arbre et ses composantes. De tels tableaux sont quelquefois désignés tableaux auxiliaires parce qu'ils sont des extensions de conversions et d'équations construites. Quatre types de tableaux sont décrits: tableaux locaux et uniformisés de biomasse, proportions des composantes de l'arbre, rapports masse anhydre/masse verte et rapports de densité de base moyenne du bois.

a. Tableaux locaux et uniformisés de biomasse

De la même façon qu'un tarif de cubage local fournit une liste de volumes d'arbre pour une étendue de classes de diamètre, un tableau local de biomasse présente la biomasse de l'arbre entier ou de ses composantes par classe de diamètre. De même, un tableau uniformisé de biomasse fournit des quantités de biomasse d'arbre pour une étendue de classes de diamètre et de hauteur. Le tableau 6 montre un tableau uniformisé simple de biomasse. Normalement, un tel tableau comporterait un plus grand nombre de classes de diamètre et de hauteur avec de plus petits intervalles qui facilitent l'interpolation. En général, l'étendue effective des entrées du tableau est indiquée d'une façon quelconque, soit, dans ce cas, par des lignes brisées.

Tableau 5. Tableau de biomasse de l'arbre entier/peuplement pour un type de couvert forestier d'épinettes/peupliers

Classe de diamètre (cm)	Essences présentes dans le peuplement									
	Épinette			Pin			Peuplier			
	Tiges par hectare	Biomasse de l'arbre entier (kg)	Biomasse totale (tonnes)	Tiges par hectare	Biomasse de l'arbre entier (kg)	Biomasse totale (tonnes)	Tiges par hectare	Biomasse de l'arbre entier (kg)	Biomasse totale (tonnes)	Biomasse totale du peuplement (tonnes)
5	5	4,6	0,02							0,02
10	60	23,1	1,39				3	25,8	0,08	1,47
15	170	59,4	10,10				6	68,0	0,41	10,51
20	65	116,1	7,55				51	135,4	6,91	14,46
25	8	195,2	1,56	3	201,3	0,60	163	230,8	37,62	39,78
30				8	296,7	2,37	280	356,9	99,93	102,30
35				1	411,9	0,41	113	516,0	58,31	58,72
40							7	710,1	4,97	4,97
Total (tonnes)			20,62			3,38			208,23	232,23

Tableau 6. Tableau normalisé de biomasse d'après l'équation de l'arbre entier (pin gris) d'Alemdag (1983)

Classe de diamètre (cm)	Masse anhydre de l'arbre entier (kg)					
	Classe de hauteur (m)					
	5	10	15	20	25	30
5	1,98	3,97	5,9	7,9		
10	7,93	15,87	23,8	31,7	39,7	
15	17,85	35,70	53,5	71,4	89,2	107,1
20	31,73	63,5	95,2	126,9	158,7	190,4
25		49,2	148,7	198,3	247,9	297,5
30			214,2	285,6	357,0	428,4
35				388,7	485,9	583,0

Équation utilisée : $OM = 0{,}015865\ D^2H$

b. Tableaux de proportions des composantes de l'arbre

Les proportions des composantes par essence figurent fréquemment parmi les données publiées sur la biomasse de l'arbre. Les proportions sont habituellement présentées sous la forme d'un pourcentage de la masse anhydre du bois de tige. Le tableau 3 chez Alemdag (1984b) en est un exemple typique.

c. Rapports masse anhydre/masse verte

La relation entre la masse anhydre et la masse verte des principales composantes de l'arbre par essence est généralement intéressante. Les rapports sont utiles pour convertir la masse verte, qui a été calculée par un moyen quelconque, en masse anhydre. La conversion en masse anhydre de la masse nette d'un chargement de billes sur un camion en est un exemple. Le tableau 4 chez Alemdag (1984b) constitue un bon exemple d'un tableau de rapports. Dans ce cas, les rapports de masse anhydre/masse verte des quatre principales composantes et de l'arbre entier pour 19 espèces de feuillus de l'est du Canada sont présentés ensemble et peuvent être comparés.

d. Densité de base du bois

La densité du bois des arbres et des composantes de l'arbre est aussi généralement intéressante. Comme le volume de la tige est un paramètre fréquemment connu, il est souvent souhaitable de pouvoir convertir le volume en masse anhydre. Les rapports de densité permettent cette opération. Le tableau 5 d'Alemdag (1984b) fournit la liste des densités de base du bois pour 19 espèces de feuillus de l'est du Canada et les compare avec des densités obtenues par un autre auteur. Il y a, de toute évidence, une gamme de densités allant de 350 kg/m^3 à plus de 650 kg/m^3 parmi les essences citées.

IV. APPLICATION DES ÉQUATIONS DE LA BIOMASSE À L'INVENTAIRE DE BIOMASSE FORESTIÈRE

Le but des équations de biomasse, qu'elles soient sous la forme d'équations de l'arbre ou de facteurs et de rapports de conversion, est d'évaluer les réserves de biomasse forestière sur une propriété en utilisant plusieurs niveaux de subdivision. Les subdivisions sont souvent des unités administratives, des strates d'échantillonnage, des essences, des classes d'âge et de dimensions, et des composantes de l'arbre. Il existe quatre méthodes d'application des équations de biomasse à l'inventaire forestier, qui dépendent surtout des modes actuels d'inventaire et des données existantes. Ce chapitre examine les quatre cas relativement aux méthodes actuelles d'inventaire forestier général au Canada.

Les quatre cas peuvent être résumés de la façon suivante:

En premier lieu, si un inventaire volumétrique a été terminé récemment et que les données de base sur la placette-échantillon et sur l'arbre-échantillon sont intactes, on peut en général introduire des équations de biomasse de l'arbre ultérieurement et obtenir des estimations fiables de la biomasse. On vise surtout le volume, avec une extension de la biomasse de l'arbre ou «réajustement». C'est vraisemblablement le cas le plus courant. Deuxièmement, s'il n'existe pas d'inventaire, il faut en concevoir un nouveau qui incorporera les éléments d'estimation de la biomasse, y compris, dans la plupart des cas, la construction et l'utilisation des équations de l'arbre. Par exemple, il existe des relevés spéciaux de la biomasse forestière d'intérêt non commercial ou des zones qui se trouvent à l'extérieur de la région inventoriée. On s'intéresse alors surtout à la biomasse plutôt qu'au volume, mais l'estimation de ce dernier est habituellement effectuée avec celle de la biomasse. Troisièmement, si l'identité des données de base de l'arbre a été perdue, les facteurs de conversion et les rapports de composantes peuvent être appliqués aux résultats de volume provisoires ou finals. Il est plus probable que ce cas survienne avec les inventaires plus anciens pour lesquels les données sont incomplètes, éliminées, égarées ou périmées. Quatrièmement, si des segments de population ne sont pas inclus dans l'inventaire traditionnel, comme les essences non marchandes ou les classes de petites tailles, des ajustements pourraient être nécessaires pour tenir compte des parties manquantes. Les lacunes peuvent être comblées par l'utilisation des données existantes sur des conditions de peuplement forestier étroitement liées ou par la collecte de nouvelles données supplémentaires. Les méthodes utilisées pour traiter les quatre cas sont décrites dans ce chapitre. Les arbres morts, les déchets de coupe et les arbres dont la taille est inférieure à 30 cm ne sont pas considérés dans cette étude.

L'estimation des réserves de biomasse forestière, indépendamment de l'approche, sera presque toujours étroitement liée à une méthode d'inventaire forestier volumétrique. Un grand nombre de méthodes sont communes aux estimations de la biomasse et à celles du volume et, lorsque les procédés divergent, la méthode de déterminer de la biomasse s'emploie habituellement de façon parallèle à son homologue volumétrique. Par exemple, la classification et la cartographie des types de couvert forestier ainsi que l'élaboration de strates d'échantillonnage sont communes aux deux méthodes; la construction des formules de cubage et celle des équations de la biomasse de l'arbre ne sont pas strictement communes mais analogues. Il se peut que quelques-uns des procédés ne présentent aucun lien. Par exemple, l'estimation de la biomasse des composantes d'un arbre est exclusivement une tâche d'estimation de la biomasse; en ce cas, l'utilisation de facteurs de conversion peut être considérée comme une extension. Indépendamment des variations possibles, les méthodes actuelles d'inventaire sont très bien établies, et l'on peut s'attendre à ce qu'elles encadrent et déterminent l'élaboration de la plupart des nouveaux inventaires, y compris l'estimation de la biomasse. En conséquence, étant donné l'importance des méthodes établies pour la mesure de la biomasse, les procédures utilisés couramment au Canada, tels ceux décrits récemment par Smith (1975, 1976) et Bonnor (1982a, 1982b), sont résumés ci-dessous. Ils offrent un cadre pour l'examen des quatre principales approches à l'estimation de la biomasse. Bonnor (1987) présente une vue d'ensemble de l'inventaire de la biomasse forestière et explique comment celui-ci a été établi pour les forêts du Canada.

1. Résumé des méthodes actuelles d'inventaire forestier volumétrique au Canada

a. Objectifs

La première étape d'un inventaire forestier consiste à définir clairement son objectif. On décide d'abord du type d'inventaire à établir, soit de reconnaissance, d'aménagement, d'exploitation ou régional. L'objectif doit inclure une description des limites de la propriété ou de la zone étudiée, les exclusions intérieures, la définition du système de classification du peuplement forestier, les caractéristiques cartographiques, les niveaux de subdivision, les strates, les caracteristiques d'échantillonnage, les quantités à estimer, les tableaux nécessaires de statistiques et d'autres résultats. L'objectif doit préciser les exigences d'exactitude des quantités clés, le budget de l'inventaire, la date d'achèvement de la première ligne de base ainsi que les intervalles requis entre les mises à jour. Les objectifs doivent être définis en étroite relation avec la planification de l'aménagement forestier, l'élaboration de la politique et la prise de décisions au jour le jour, ce qui est la principale raison des inventaires.

b. Cartes de base

Les inventaires forestiers au Canada ont traditionnellement accordé une grande importance aux cartes qui indiquent les limites de propriété, les cours d'eau, les routes, les caractéristiques géographiques, les établissements, l'utilisation des terres, les unités administratives, etc., qui fournissent un cadre pour les données sur le peuplement forestier. La plupart des décisions en matière d'aménagement sont prises, ayant les cartes forestières sous la main. Des efforts considerables sont déployés pour garder ces cartes à jour. Un système d'information à référence géographique géré par ordinateur joue, de façon croissante, un rôle important dans la production de cartes forestières et la mise à jour ainsi que l'analyse et la planification des stratégies de gestion forestière. Toutes ces cartes sont au départ des cartes de base indiquant les caractéristiques généralement permanentes qui forment une base d'information pour la gestion des ressources forestières.

c. Interprétation des photographies

L'interprétation des photographies est un moyen efficace de délimiter et de décrire les unités forestières. Ceci est souvent effectué sous forme de codes. L'échelle des photographies peut varier entre 1/10 000 et 1/50 000, mais elle varie plus fréquemment entre 1/15 000 et 1/20 000. Le système de classification détermine les caractéristiques définies, le codage des lignes et des polygones qui en résultent. Les unités forestières incluent généralement la composition des essences, la hauteur du peuplement, la densité du couvert et, quelquefois, les classes d'âge ou de maturité, l'indice de station et des expressions de matériel relatif. Le système de classification conduit à une stratification qui est utilisé ultérieurement pour augmenter l'efficacité de l'échantillonnage forestier et pour compiler des statistiques et des tableaux.

d. Échantillonnage forestier

Le système de stratification et de classification des peuplements forestiers élaboré ci-dessus est souvent utilisé pour établir un cadre en vue de la sélection des échantillons. Ces derniers peuvent être des placettes à superficie déterminée de diverses formes et tailles, considérées individuellement ou en grappes, ou des points-échantillons (échantillons à rayon variable ou estimés à l'aide d'un prisme). L'emplacement des échantillons est habituellement choisi subjectivement en tenant compte des caractéristiques comme l'accessibilité et en rejetant des conditions de peuplement considérées comme «non représentatives». L'attribution de poids aux strates peut servir à intensifier ou limiter l'effort d'échantillonnage par strate. L'essence, le diamètre de l'arbre, la hauteur, l'âge et la croissance actuelle constituent les principales catégories de données recueillies. De plus, on consigne fréquemment des données supplémentaires sur le peuplement, la topographie, le sol, la régénération, la couverture vivante au sol, les conditions de peuplement, y compris les indications de dommages, de pourriture et d'anormalité. Les données recueillies au cours de l'échantillonnage sur le terrain sont habituellement utilisées pour confirmer et, au besoin, améliorer l'interprétation des photographies.

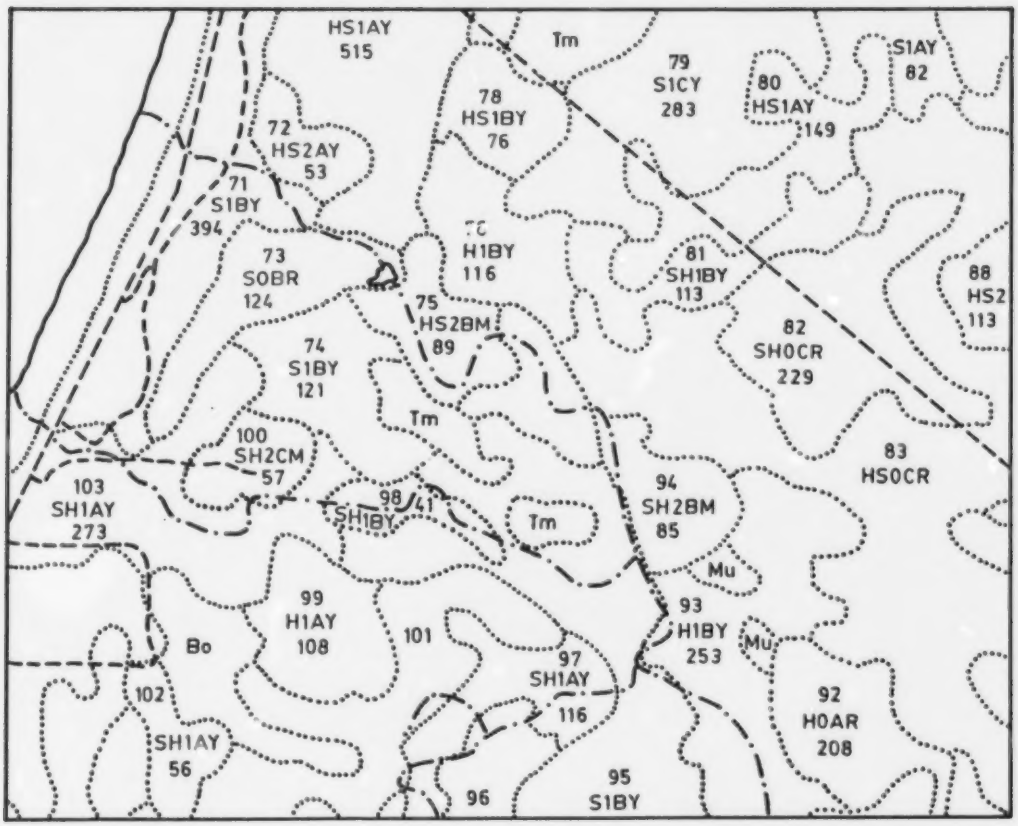

Figure 10. Exemple d'une partie d'une carte typologique ordinaire.

e. Achèvement des travaux cartographiques

Lorsque l'interprétation des photographies est terminée, les tracés et les descriptions codées de peuplements sont transférés à des cartes de base à l'aide d'un équipement de projection ou de numériseurs. Après le transfert à des manuscrits cartographiques, les données sont préparées, numérisées ou examinées et peut-être traitées au moyen d'un système d'information géographique, puis la carte finale est tracée. La figure 10 montre une partie d'une carte typologique ordinaire. La surface des polygones de peuplement est déterminée et liée à la description du polygone (données sur les caracteristiques du peuplement) pour l'établissement des listes et la compilation ultérieurs. La liste des peuplements au tableau 7 est un exemple d'une fiche typique des caractéristiques codées d'un type de couvert forestier.

f. Construction d'équations

On peut effectuer un sous-échantillonnage de quelques placettes ou des études spéciales pour recueillir des données détaillées sur le profil de la tige de l'arbre afin de construire des formules ou des tarifs du cubage d'arbre. De même, on peut procéder au mesurage complet des arbres pour en étudier la croissance. Malgré leur subjectivité, les méthodes de sélection sont habituellement conçues pour couvrir l'étendue des essences et des classes de dimensions de la façon la plus uniforme possible. La construction des équations se conforme généralement à la logique, aux modèles et aux procédés décrits au chapitre III.

Tableau 7. Liste partielle des données sur les attributs du peuplement apparaissant à la figure 10

N° du peuplement	Type de couvert	Classe de hauteur	Classe de densité	Classe de maturité	Superficie (hectares)
17	S	1	B	Y	394
72	HS	2	A	Y	53
73	S	0	B	R	124
74	S	1	B	Y	121
75	HS	2	B	M	89
76	H	1	B	Y	116
77	HS	1	a	Y	515
78	HS	1	B	Y	76
79	S	1	C	Y	283
80	HS	1	A	Y	149
81	SH	1	B	Y	113
82	SH	0	C	R	229
83	HS	0	C	R	135
92	H	0	A	R	208
93	H	1	B	Y	253
94	SH	2	B	M	85
97	SH	1	A	Y	116
98	SH	1	B	Y	41
99	H	1	A	Y	108
100	SH	2	C	M	57
102	SH	1	A	Y	273

Type de couvert		Classe de hauteur (m)		Classe de densité (%)		Classe de maturité	
S	Épinettes/feuillus	0	0 - 5	A	0 - 30	Y	Régénération
SP	Épinettes/pins	1	6 - 10	B	31 - 60		
SH	Épinettes/feuillus	2	11 - 15	C	61 - 90		
P	Pins	3	16 - 20	D	91 - 100	I	Immature
PS	Pins/épinettes	4	21 - 25				
PH	Pins/feuillus	5	26 -30			M	Arrivé à maturité
H	Feuillus	6	31 +				
HS	Feuillus/épinettes						
HP	Feuillus/pins						

g. Compilation

L'étape finale est la compilation des résultats d'inventaire en vue de leur présentation sous la forme de statistiques et de tableaux. Les statistiques comprennent les estimations des quantités clés comme le volume total brut moyen, le volume marchand et le volume net par hectare pour la région ou par strates ou d'autres subdivisions. On peut y ajouter la surface terrière, des statistiques sur la croissance et des données sur l'âge. Des énoncés sur le degré d'exactitude ou la fiabilité accompagnent habituellement les quantites clés. Les rapports sous la forme des tableaux comprennent des listes de données sur les caractéristiques des peuplements avec les superficies et les volumes totaux associés ainsi que des tableaux de peuplements, de stock et de surface terrière, qui offrent une ventilation par essence et par classe de diamètre.

Les compilations sont effectuées en triant les données recueillies dans la placette-échantillon selon les strates ou d'autres données sur les caractéristiques des peuplements. Les arbres-échantillons sélectionnés sont traités arbre par arbre, au moyen des formules de cubage de l'arbre susmentionnées. Les volumes totaux bruts des arbres sont encore corrigés par les normes choisies de qualité marchande ainsi que les coefficients de réfaction, de pourrissement et peut-être de rupture. Ces contraintes sont étroitement liées aux produits forestiers commerciaux que l'on prévoit obtenir des grumes. Le dénombrement des tiges, la surface terrière et diverses expressions du volume total brut, marchand et net sont additionnés par placette pour obtenir des quantités par hectare qui, combinées à celles d'autres placettes dans la même strate, produisent les estimations des quantités moyennes par hectare susmentionnées. Lorsque l'on ajoute ces estimations aux valeurs totales pour la superficie de la strate, on obtient les résumés des volumes totaux ainsi que les évaluations de fiabilité qui leur sont associées.

Un exemple simple sert à illustrer la méthode de compilation de l'inventaire. L'exemple montre les données d'entrée (à partir de cartes, de placettes et d'arbres associés provenant du relevé sur le terrain et des formules de cubage), l'établissement des strates, ainsi que la compilation et la production des résultats d'inventaire. L'exemple est peu réaliste dans sa simplicité, ne comportant que

Figure 11. Carte forestière.

quatre peuplements, deux strates, sept placettes-échantillons et 20 arbres associés.

Les polygones de peuplement (ou du type) forestier apparaissent dans le croquis d'une carte forestière (figure 11). La fiche des attributs du peuplement forestier (tableau 8) présente les données de base (numéro du polygone, type de couvert, et superficie du polygone dans ce cas) ainsi que la strate obtenue à partir du type de couvert. Deux strates ont été établies d'après les règles suivantes : si le couvert est constitué de pins ou d'épinettes, on attribue la strate I; pour les autres essences, on utilise la strate II. Le code de strate obtenu est ajouté à la liste des attributs de la façon indiquée. On peut attribuer des caractéristiques aux placettes-échantillons selon le polygone (peuplement) dans lequel elles se retrouvent (tableau 9). Il y a des arbres associés aux placettes-échantillons comme on peut le constater sur la fiche des données sur l'arbre (tableau 10).

La formule de cubage de l'arbre qui suit a été utilisée pour estimer le volume total brut de la tige (Vt) d'après Honer et collab. (1983) :

$$Vt = 0{,}0043891\ D^2(1-0{,}04365a)^2/(b+(0{,}3048c/H)) \qquad (21)$$

Les coefficients utilisés avec cette formule sont fournis au tableau 11. Une autre série d'équations peut être employée pour imposer des

Tableau 8. Fiche de caractéristiques du peuplement forestier

Données de base			Strate dérivée
N° du polygone	Type de couvert	Superficie (hectares)	strate
1	Pin	128,1	I
2	Peuplier	212,7	II
3	Épinette	381,3	I
4	Peuplier	189,5	II
5	Non-forestier	86,1	

Tableau 9. Fiche de caractéristiques de la placette

Données de base			Données dérivées	
N° de placette	Type de couvert	Strate	Volume total de la placette (m^3)	Volume (m^3/ha)
1	Pin	I	1,261	126,1
2	Peuplier	II	1,307	130,7
3	Épinette	I	1,304	130,4
4	Épinette	I	1,298	129,8
5	Épinette	I	0,750	75,0
6	Peuplier	II	0,058	5,8
7	Peuplier	II	0,728	72,8

*En supposant une superficie de 100 m^2 pour la placette.

Tableau 10. Fiche de données sur l'arbre

N° de la placette	N° de l'arbre	Essence	D (cm)	H (m)	Volume brut* (m^3)	Volume marchand* (m^3)
1	1	P	21,4	18,6	0,300	0,256
1	2	P	27,2	23,1	0,583	0,493
1	3	S	24,0	20,3	0,378	0,331
2	1	A	26,3	24,7	0,591	0,503
2	2	S	12,1	10,2	0,054	0,021
2	3	A	28,5	23,6	0,662	0,581
3	1	S	23,6	19,7	0,357	0,278
3	2	S	24,2	18,1	0,366	0,281
3	3	A	22,1	21,6	0,362	0,280
3	4	S	19,4	17,4	0,219	0,182
4	1	S	32,1	24,6	0,784	0,710
4	2	S	26,8	22,7	0,514	0,462
5	1	S	16,1	14,1	0,127	0,081
5	2	S	19,8	16,0	0,213	0,187
5	3	S	21,1	16,1	0,243	0,212
5	4	A	18,0	15,2	0,167	0,121
6	1	A	13,3	9,8	0,058	0,022
7	1	A	22,1	17,6	0,292	0,271
7	2	A	21,2	18,0	0,275	0,234
7	3	S	8,9	7,3	0,022	0,000
7	4	A	17,1	14,1	0,139	0,083

*Obtenu à l'aide des formules de cubage de l'arbre.

Tableau 11. Coefficients de la formule de cubage total de la tige

Essence	a	b	c
Pin	0,151	0,897	348,330
Épinette	0,176	1,440	342,175
Peuplier	0,127	-0,312	436,683

contraintes de qualité marchande. Une autre série d'équations ou de coefficients peut servir à introduire des réductions pour tenir compte de la décomposition et des défauts afin d'obtenir un volume total net ou marchand. Ces équations ne sont pas expliquées ici.

Enfin, une fiche de strates est créée, comme le montre le tableau 12, en utilisant les volumes de placettes individuelles. Le volume moyen par hectare est calculé par strate conformément aux règles du plan d'échantillonnage aléatoire stratifié. Le plan permet aussi une détermination du degré d'exactitude de l'estimation. Ces calculs sont ajoutés à la fiche de strates comme valeurs dérivées. Les volumes totaux des strates sont également calculés d'après les superficies de ces strates et les estimations par hectare. On peut faire la somme des totaux de strates pour obtenir le volume total du bois sur la propriété. La même méthode peut servir à estimer les volumes marchands et nets, si ces derniers ont été inclus, ou d'autres quantités comme la biomasse (description et exemple à la section suivante).

Lors du calcul du volume moyen par hectare par strate, la méthode de compilation permet également de trier les dénombrements de tiges, la surface terrière et les expressions de volume par hectare par essence et classe de diamètre. Les résultats en sont les tableaux de peuplement, de stock et de surface terrière utiles à la planification et à la prise de décision en matière d'aménagement forestier. Les tableaux de peuplement et de stock pour cet exemple figurent aux tableaux 13 et 14.

On remarquera que le volume total par hectare pour toutes les essences a la même valeur que dans la fiche de strates vis-à-vis de la strate I (tableau 12). Le même exemple est utilisé dans les prochaines sections pour montrer l'intégration de l'estimation de la biomasse dans l'inventaire forestier.

2. Adaptation des équations de la biomasse de l'arbre aux inventaires volumétriques existants

Dans la majorité des cas où un inventaire de biomasse est requis, il existe déjà un inventaire volumétrique qui peut fournir les données de base nécessaires pour la compilation des estimations de la biomasse. Cependant, il est souhaitable de trouver une réponse à un certain nombre de points d'interrogation. Les données de base sur les placettes et les arbres sont- elles complètes et présentées sous une forme qui permet de les compiler à nouveau? Les données existantes sont-elles suffisamment à jour pour être utiles? Le degré d'exactitude des estimations de biomasse sera-t-il acceptable? La population visée par les estimations de la biomasse est-elle représentée de façon adéquate et suffisamment échantillonnée? A-t-on oublié d'inclure des conditions d'importance particulière pour le champ de biomasse (par ex. les essences non marchandes ou les matériaux de petite taille)? Dans le cas contraire, ces conditions sont-elles représentées adéquatement dans l'échantillon? Ces questions doivent être examinées à la lumière des lignes directrices déjà présentées dans ce manuel.

Si, après considération de ces questions, l'on juge que les données de l'inventaire volumétrique peuvent être converties, il faut suivre les étapes suivantes :

- Déterminer si les classes d'interprétation des photographies et les descriptions des peuplement satisfont ou non aux exigences de l'inventaire de la biomasse. Dans le cas contraire, l'interprétation, le codage et la cartographie doivent être revus ou ajoutés. Un système de stratification pertinent à l'estimation de la biomasse peut être mis au point et ajouté à la fiche d'attributs de peuplement forestier pour être utilisé à l'étape de la compilation.
- Déterminer à l'aide des méthodes décrites à la section 4 du chapitre III s'il existe une série d'équations de la biomasse de l'arbre qui convient à la propriété ou à la zone visée.
- Dans le cas contraire, construire une nouvelle série d'équations de l'arbre en utilisant les méthodes décrites à la section 5 du chapitre III.

Tableau 12. Fiche de strates

Strate	Description	Superficie (ha)	Volume moyen par hectare (m^3)	Nombre de placettes	Exactitude* (%)	Volume total
I	Épinette/pin	509,4	115,4	4	±23	58 784,5
II	Peuplier	402,2	69,8	3	±89	28 073,6
Total		911,6		7		86 858,1

*Erreur-type de l'estimation exprimée en pourcentage de la moyenne.

Tableau 13. Tableau de peuplement pour la strate I

Classe de diamètre (cm)	Épinette	Pin	Tiges par hectare	
			Peuplier	Toutes les essences
15	25	25	50	25
20	75	25	50	150
25	100	25		125
30+	25			25
Total	225	50	50	325

Tableau 14. Tableau de stock pour la strate I

Classe de diamètre (cm)	Épinette	Pin	Volume brut total par hectare (m^3)	
			Peuplier	Toutes les essences
15	3,2			3,2
20	16,9	7,5	13,2	37,6
25	40,4	14,6		55,0
30+	19,6			19,6
Total	80,1	22,1	13,2	115,4

Tableau 15. Coefficient b de l'équation de la biomasse pour l'essence ou les composantes

Composante	Épinette blanche	Pin gris	Peuplier faux-tremble
OM1 : Bois de la tige	0,014027	0,015865	0,014755
OM2 : Écorce de la tige	0,001438	0,001260	0,003880
OM3 : Branches vivantes	0,001097	0,000827	0,003318
OM4 : Brindilles et feuillage	0,001657	0,001042	0,000507
OM5 : Arbre entier	0,018219	0,018994	0,022460

Tableau 16. Fiche de données sur l'arbre

		Données dérivées				
No de la placette	No de l'arbre	OM* (kg)	OM2 (kg)	OM3 (kg)	OM4 (kg)	OM5 (kg)
1	1	135,1	10,7	7,0	8,9	161,8
1	2	271,1	21,5	14,1	17,8	324,6
1	3	164,0	16,8	12,8	19,4	213,0
2	1	252,1	66,3	56,7	8,7	383,7
2	2	20,9	2,1	1,6	2,5	27,2
2	3	282,8	74,4	63,6	9,7	430,5
3	1	153,9	15,8	12,0	18,2	199,9
3	2	154,9	15,9	12,1	18,3	201,2
3	3	155,7	40,9	35,0	5,3	236,9
3	4	91,9	9,4	7,2	10,9	119,3
4	1	355,6	36,5	27,8	42,0	461,8
4	2	228,7	23,4	17,9	27,0	297,0
5	1	51,3	5,3	4,0	6,1	66,6
5	2	88,0	9,0	6,9	10,4	114,3
5	3	100,5	10,3	7,9	11,9	130,6
5	4	72,7	19,1	16,3	2,5	110,6
6	1	25,6	6,7	5,8	0,9	39,0
7	1	126,8	33,4	23,5	4,4	193,1
7	2	119,4	31,4	26,8	4,1	181,7
7	3	8,1	0,8	0,6	1,0	10,5
7	4	60,8	16,0	13,7	2,1	92,6

*Voir tableau 15 pour la définition des composantes de biomasse.

Tableau 17. Fiche de caractéristiques de la placette

		Données dérivées					
			Biomasse (tonnes/ha)				
No de la placette	Strate	Volume (m^3/ha)	Bois de la tige	Écorce de la tige	Branches vivantes	Rameaux et feuillage	Arbre entier
1	I	126,1	57,0	4,9	3,4	4,6	69,9
2	I	130,7	55,6	14,3	12,2	2,1	84,2
3	II	130,4	55,6	8,2	6,6	5,3	75,7
4	II	129,8	58,4	6,0	4,6	6,9	75,9
5	II	75,0	31,2	4,4	3,5	3,1	42,2
6	I	5,8	2,6	0,7	0,6	0,1	4,0
7	I	72,8	31,5	8,2	7,0	1,2	47,9

- Examiner les méthodes de compilation afin de déterminer à quelle étape on utilise les formules de cubage pour estimer le volume de l'arbre d'après le diamètre ou d'après le diamètre et la hauteur. Avec les formules de cubage, introduire des équations de la biomasse de l'arbre entier et de ses composantes.
- Établir des méthodes pour réunir les quantités de biomasse, les équations visant à calculer les estimations par hectare, ainsi que les moyens de produire des estimations et des tableaux de biomasse. Pour l'estimation de la biomasse, on a recours à des estimateurs qui sont les pendants des modèles de volume. De même, les tableaux de biomasse pour l'arbre entier et ses composantes sont semblables à leurs homologues volumétriques.

L'exemple présenté à la section précédente sert aussi à illustrer cette adaptation de la façon suivante :

En premier lieu, la carte des peuplements forestiers ainsi que les données de base décrivant ces peuplements sont les mêmes que précédemment (figure 11 et tableau 8). Cependant, les données dérivées et l'établissement des strates pourraient être modifiés pour refléter des exigences particulières de l'estimation de la biomasse. Supposons que, du point de vue de la biomasse, le couvert d'épinettes soit important, peut-être parce que les peuplements sont dégradés ou stagnants et ne peuvent servir que comme source de biomasse. Ainsi, les épinettes seront traitées comme une strate distincte, tandis que les peupliers et les pins fondus donneront une seule strate. En conséquence, les polygones 1, 2 et 4 formeront la strate I, et le polygone 3 deviendra la strate II.

En revenche, trois strates auraient pu être établies, une pour chaque essence dominante, ou d'autres attributs auraient pu être ajoutés pour servir de critères à la formation des strates.

Les données de base sur l'arbre demeurent les mêmes, mais des colonnes additionnelles apparaissent pour présenter les estimations de la biomasse des composantes de l'arbre. Les équations de la biomasse de l'arbre sont utilisées pour produire les estimations. Il pourrait s'agir d'une série d'équations existantes ou bien d'une nouvelle équation. Une nouvelle série d'équations aurait été construite à l'aide des méthodes décrites aux chapitres II et III si les équations existantes étaient considérées comme inappropriées. Ici, des équations d'Alemdag (1981, 1983) ont été utilisées dans l'exemple basé sur le modèle suivant :

$$OM = b\,D^2H \qquad (22)$$

où OM est la biomasse de la composante ou de l'arbre entier. Le coefficient b, propre à l'essence et à la composante de la biomasse, est fourni au tableau 15.

Les équations basées sur ces coefficients sont utilisées pour produire les entrées de biomasse vis-à-vis de chaque arbre, qui sont reproduites au tableau 10 sous la forme des données de base. C'est ainsi que le tableau 16 a été produit. Les données de base sur la placette demeurent inchangées (tableau 9), sauf pour la modification de la colonne de la strate et l'utilisation de colonnes additionnelles pour les quantités de biomasse (tableau 17). Le nombre des colonnes de biomasse pourrait être augmenté pour inclure les composantes marchandes et non marchandes.

Les quantités de biomasse de l'arbre sont totalisées par placette comme dans le cas du volume, puis converties en valeurs par hectare et enfin réparties par essence et classe de diamètre. Après compilation des valeurs de biomasse de la placette par hectare par composante, on les ajoute à la fiche d'attributs de la placette par hectare par composante, qui, à son tour, peut entrer dans le calcul d'une moyenne par strate pour remplir la fiche de strates (tableau 18). Bien qu'il ne soit présenté ici que la biomasse de l'arbre entier, toutes les composantes apparaissent normalement. Le tableau de peuplement et celui de la biomasse de l'arbre entier compilés pour la strate II se présentent sous la forme de tableaux 19 et 20.

Comme on peut le constater d'après cet exemple, l'adaptation des équations de la biomasse de l'arbre à un inventaire volumétrique existant ne comporte que quelques changements, à condition que les données de base sur les placettes et les arbres soient intactes. En résumé, ces changements comprennent des modifications possibles du système de stratification, ainsi que l'ajout d'équations de la biomasse aux méthodes de compilation, de colonnes de quantités de biomasse au produit des résultats et, enfin, de quelques nouveaux tableaux de biomasse. La méthode est également bien expliquée par Macquarrie (1983).

Tableau 18. Fiche de strate

Strate	Description	Superficie (ha)	Volume (m^3/ha)	Biomasse moyenne de l'arbre entier (tonnes/ha)	Nombre de placettes	Exactitude* (%)	Biomasse totale (tonnes)
I	Pin/peuplier	530,3	83,9	51,5	4	68	27 310
II	Épinette	381,3	117,7	64,6	3	30	24 556
Total		911,6			7		51 866

*Erreur-type de l'estimation exprimée en pourcentage de la moyenne.

Tableau 19. Tableau de peuplement pour la strate II

Classe de diamètre (cm)	Tiges par hectare			
	Épinette	Pin	Peuplier	Toutes les essences
15	3			3
20	10		7	17
25	10			10
30+	3			3
Total	26		7	33

Tableau 20. Tableau de biomasse pour la strate II

Classe de diamètre (cm)	Tiges par hectare			
	Épinette	Pin	Peuplier	Toutes les essences
15	2,2			2,2
20	12,1		11,6	23,7
25	23,3			23,3
30+	15,4			15,4
Total	53,0		11,6	64,6

3. Incorporation de l'estimation de la biomasse dans les nouveaux inventaires forestiers

La préparation d'un nouvel inventaire forestier permet la planification et l'incorporation de plusieurs activités de mesurage et d'estimation de la biomasse avant le début des travaux de l'inventaire proprement dit. La planification et l'intégration éliminent la plupart des problèmes de «réajustement» examinés à la section précédente. Les méthodes, cependent, suivent la plupart des étapes d'inventaire résumés jusqu'à présent dans ce chapitre. En particulier, la cartographie de base, l'interprétation des photographies, la classification des peuplements et la cartographie forestière ne changent pas, sauf en ce qui concerne l'ajout possible d'information sur la biomasse aux données sur les attributs de peuplement, et la modification du système de stratification pour qu'il puisse refléter les caractéristiques et les besoins particuliers de l'estimation de la biomasse. Par exemple, bien que les peuplements forestiers non marchands ou dégradés soient généralement exclus des inventaires volumétriques traditionnels ou n'y figurent que comme éléments d'importance secondaire, ils peuvent acquérir un intérêt particulier dans un contexte d'évaluation de la biomasse et constituer un secteur visé par cette activité.

Les principaux écarts observés dans la méthodologie surviennent lors de l'échantillonnage sur le terrain, de la construction et de l'adaptation des équations de la biomasse de l'arbre, ainsi qu'aux étapes de la compilation. Ces écarts sont décrits ci-dessous de façon à pouvoir mettre en application le mesurage et l'estimation de la biomasse lors d'un inventaire forestier projeté. L'exécution et les résultats d'un inventaire intégré de la biomasse et du volume d'une propriété forestière en Ontario sont présentés par Alemdag et Bonnor (1985).

a. Échantillonnage sur le terrain

Les méthodes d'échantillonnage sur le terrain sont quelque peu modifiées lorsqu'on exige d'un inventaire forestier qu'il nous fournisse aussi une estimation de la biomasse. Les modifications portent principalement sur le traitement des petits matériaux et la collecte de données sur les arbres à des fins de vérification ou de construction des équations de biomasse de l'arbre.

L'estimation de la biomasse accorde généralement plus d'importance aux petits matériaux et aux essences considérées comme non marchandes lors de relevés traditionnels. En conséquence, la nécessité de prévoir un moyen de limiter la quantité de petits arbres et d'arbustes échantillonnés a conduit à l'utilisation de sous-placettes et d'autres éléments servant à l'échantillonnage comme les facteurs de surface terrière accrue dans le sondage par points. Une pratique courante, telle que décrite au chapitre II, consistait à utiliser deux niveaux de sous-placettes: par exemple une placette circulaire de 25 m^2 (rayon = 2,82 m) pour des arbres de 0,1 à 5,1 cm de diamètre, et une placette circulaire de 4 m^2 (rayon = 1,13 m) pour des arbres de 0,31 à 1,30 m de haut. Dans le premier cas, on consigne l'essence, le diamètre ainsi que d'autres données sur l'arbre; dans le second cas, les arbres sont comptés et répartis selon l'essence et deux classes de hauteur: 0,31 à 0,80 m et 0,81 à 1,30 m. Le but de l'emploi des sous-placettes et de la méthode de mesurage est de réduire l'effort d'échantillonnage des petits matériaux sur le terrain. L'exclusion des arbres et des arbustes qui ont moins de 0,31 m de haut vise aussi à limiter la tâche sur le terrain. Les arbres dont le diamètre est supérieur à 5,0 cm peuvent être traités comme dans un inventaire volumétrique, bien que la hauteur de tous les arbres-échantillons doive être mesurée ou estimée si les équations de biomasse exigent à la fois la hauteur et le diamètre. Une placette circulaire à superficie déterminée (rayon de 11,28 m) a été recommandée au chapitre II. Les placettes à angle variable (estimées à l'aide d'un prisme) augmentent l'efficacité de l'échantillonnage lorsqu'on s'intéresse surtout aux arbres de grande taille commercialement précieux pour les produits forestiers traditionnels qu'ils fournissent. Les placettes à superficie déterminée prennent de la valeur lorsque l'on s'intéresse davantage aux petits arbres ou que l'on accorde une plus grande importance à la distribution de fréquence des arbres dans les classes de dimensions (comme dans les tableaux de peuplement). Sous tous les autres aspects, la méthode d'échantillonnage sur le terrain est presque identique à celle d'un inventaire traditionnel.

Les méthodes de sélection et de mesurage des arbres, employées pour établir des équations de la biomasse, diffèrent quelque peu de leurs homologues volumétriques. Les différences portent principalement sur les dimensions mesurées

et la division de l'arbre en ses composantes. Les méthodes sont décrites au chapitre II.

b. Construction d'équations

Comme pour l'échantillonnage et le mesurage des arbres qui servent à la construction des équations, les différences entre les formules de cubage et les équations de la biomasse portent principalement sur les variables utilisées et les composantes de l'arbre. Les méthodes de construction des équations sont examinées en détail au chapitre III.

c. Compilation

L'un des principaux objectifs de la compilation est d'estimer les statistiques clés, comme la biomasse et le volume totaux par hectare, d'après les données sur les placettes par strate, et de combiner ces valeurs aux statistiques de strate pour produire les quantités totales désirées. Cette méthode a été expliquée aux sections 1 et 2. La compilation produit de nombreux autres résultats comme les estimations de la biomasse des composantes de l'arbre ainsi que des tableaux de peuplement, de stock, de surface terrière et de biomasse qui mettent en lumière la structure des peuplements, la distribution de fréquence des arbres ainsi que la distribution de volume, de surface terrière et de biomasse par essence et par classe de diamètre. De tels tableaux montrent typiquement la structure moyenne des peuplements par strate et deviennent des éléments clés pour la planification et la prise de décisions en matière d'aménagement forestier. La compilation permet d'établir des tableaux de superficie, de volume et de biomasse ainsi que des estimations du degré d'exactitude des statistiques clés.

Comme l'illustre l'exemple présenté à la section 2, les équations de la biomasse de l'arbre et les méthodes servant à compiler les estimations par hectare sont semblables à leurs homologues volumétriques. Il n'y a de différences que dans la redéfinition des strates qui doivent refléter les exigences de l'estimation de la biomasse et dans le traitement des données sur l'arbre.

4. Conversion des données volumétriques existantes en biomasse

Par conversion on entend l'utilisation des facteurs ou des rapports pour transformer les estimations du volume du bois en équivalents de biomasse. Étant donné que des groupements ou des moyennes relatives aux peuplements sont employés, la conversion est risquée et ne doit être qu'une mesure de dernier ressort. Cette méthode n'est utilisée que lorsque les données originales sur l'arbre-échantillon n'existent pas, ont été perdues ou bien elles sont périmées ou incomplètes pour permettre une nouvelle compilation comme celle décrite à la section 2 de ce chapitre. Le processus de conversion est présenté dans cette section, et les raisons pour lesquelles on peut prévoir des biais importants y figurent également. En plus de certains moyens pour réduire le biais, on recommande une méthode pour utiliser les facteurs de conversion.

a. Principe de conversion

L'utilisation des facteurs de conversion est basée sur le simple processus consistant à trouver le rapport entre une quantité difficile à mesurer et une quantité existante ou facile à mesurer. Par exemple, certaines données existantes peuvent servir à estimer le rapport entre la masse anhydre d'une tige d'arbre et le volume de cette tige:

$$Rs = MA_s/V_s \qquad (23)$$

où R_s est le rapport, MAs la masse anhydre de la tige et V_s le volume de la tige. Ce rapport peut ensuite être utilisé pour estimer la masse anhydre de la tige d'autres arbres à condition que leur volume soit connu ou facile à déterminer :

$$MA_i = R_s.V_i \qquad (24)$$

où MA_i est la masse anhydre estimée d'un autre arbre et V_i le volume de la tige. Cependant, l'estimation dépend de la stabilité du rapport (une mesure de la densité du bois) d'un arbre à l'autre. Dans la pratique, la densité du bois de la tige est assez constante pour une essence d'une dimension donnée. Toutefois, la densité du bois d'autres composantes de l'arbre comme la biomasse des branches ou du feuillage peut varier considérablement avec la forme de l'arbre et le degré d'entassement des arbres avoisinants. De même, on peut s'attendre à des variations de la densité du bois entre les arbres de taille différente ainsi que d'une essence à l'autre.

On peut utiliser d'autres facteurs de conversion qui dépendent du même principe simple. Par exemple, si la masse anhydre d'une tige d'arbre

est divisée par sa masse verte, le rapport qui en résulte reflète la teneur en humidité. Avec ce rapport on peut convertir, par exemple, la masse verte d'un plein camion de grumes en masse anhydre. Cependant, comme la teneur en humidité est modifiée considérablement par les conditions de croissance, le temps écoulé depuis la coupe et le microclimat dans le voisinage des grumes, le rapport est à peu près inutilisable à moins d'effectuer un relevé de la teneur en humidité et des ajustements. En général, il faut être très prudent en utilisant les conversions de rapports.

b. Application des facteurs de conversion à l'inventaire forestier

Dans certaines circonstances, on ne peut publier que les résultats de l'inventaire forestier. En raison de leur nombre excessif ou de leur incommodité, les données d'échantillonnage de base qui ont servi à produire les résultats sont généralement impossible à présenter. De plus, après quelques années, les données arboricoles sont perdues, et seuls les résultats étayés par des documents demeurent intacts. Si des estimations de biomasse sont requises dans ces conditions, il faut utiliser des facteurs de conversion pour l'estimation de la biomasse et employer les rapports de composantes pour séparer les quantités de biomasse de l'arbre entier en ses composantes. Cette section examine comment on peut effectuer des estimations de biomasse et comment surviennent les biais importants. Certains moyens servant à atténuer les biais potentiellement graves sont proposés, avec la méthodologie appropriée.

Le volume total brut du bois d'œuvre sur une propriété ou dans une zone peut être converti en estimations de la biomasse de la façon suivante. Comme les estimations du volume de l'ensemble étaient basées originellement sur des arbres-échantillons individuels, la quantité estimée du volume réel des arbres doit être vérifiée : s'agit-il d'un volume total brut ou d'une expression du volume marchand où le fin bout et la souche sont exclus? A-t-on rejeté les arbres dont le diamètre était inférieur à une valeur minimale? Il faut aussi déterminer le facteur de conversion du volume en biomasse qui est approprié aux caractéristiques du volume de l'arbre. Avec une mesure d'une composante de l'arbre (généralement la tige), convertir le volume global en biomasse globale pour cette composante et utiliser les rapports moyens de composantes d'arbre pour déterminer la biomasse de l'arbre entier et d'autres composantes de la façon décrite et expliquée à la section 7 du chapitre III. Les méthodes susmentionnées peuvent servir à évaluer rapidement la biomasse bien que de façon plutôt rudimentaire.

De telles estimations peuvent être très peu fiables. L'estimation du volume et les facteurs de conversion sont des évaluations basées sur des données d'échantillonnage. Ces dernières peuvent inclure des essences et des classes de dimensions qui sont différentes de celles qui sont relevées au cours de l'inventaire particulier dont il est question.

Par exemple, le volume total de 86 858 m^3 dans l'exemple de la section 1 pourrait être converti en biomasse de l'arbre entier à l'aide d'une valeur moyenne de densité du bois ainsi que le pourcentage moyen de la biomasse de l'arbre entier constitué par le bois de la tige. Ainsi, si on suppose une densité moyenne du bois de 390 kg/m^3 et un bois de tige qui constitue 80 % de la masse de l'arbre entier, le volume total du bois de la tige peut être converti en biomasse totale de l'arbre entier de la façon suivante: 86 858 x 390 x 100/80 = 42 344 tonnes. Cette estimation est d'environ 18 % inférieure au résultat de 51 866 tonnes obtenu à partir des données de base sur l'arbre présentées à la section 1. L'exactitude dépend entièrement du choix de la valeur moyenne de densité du bois et du pourcentage du bois de la tige. On sait que les conversions sont fortement influencées par les variations dans la composition des essences et les classes de dimensions. Comme les données de base sur l'arbre utilisées dans l'inventaire ne peuvent servir à vérifier l'appariement, l'importance des biais ne peut être déterminée sans recueillir de nouvelles données.

Cependant, si une répartition des essences a été incluse dans le rapport des résultats de l'inventaire, on peut utiliser des facteurs de conversion propres aux essences, ce qui permet d'atténuer le problème dans une certaine mesure. Cette situation est mise en évidence en utilisant de nouveau l'échantillon de la section 1. Les résultats présentés au tableau 12 sont fréquemment publiés et accessibles, mais les données sur les placettes et les arbres sont souvent laissées de côté ou bien elles sont mal placées. En conséquence, plutôt que d'utiliser les méthodes décrites à la section 2 pour produire des estimations de biomasse, il serait préférable d'avoir recours aux conversions du volume de strate à l'aide du procédé suivant :

- localiser les données de volume comme celles présentées au tableau 12 (section 2);
- dans la mesure du possible, procéder à une répartition par essence (tableau 21);
- trouver une série de facteurs de conversion propre à l'essence. Dans cet exemple, les facteurs de la densité de base du bois d'après Alemdag (1981, 1983) ont été utilisés (tableau 22);
- trouver une série de rapports qui expriment la biomasse des composantes de l'arbre comme pourcentage de la masse du bois de la tige. On utilise celle-ci parce qu'elle est le pendant du volume total brut qui n'inclut pas l'écorce, les branches, les brindilles et les feuilles. Dans ce cas également, les données sont tirées d'Alemdag (1981, 1983) comme au tableau 23;
- convertir les volumes totaux bruts de la tige en masse anhydre du bois de la tige (tableau 24);
- séparer la masse du bois de la tige en masse des composantes de l'arbre à l'aide des pourcentages des composantes propres aux essences (tableau 25). Toutes les valeurs sont en tonnes.

Comme on peut le constater, la biomasse totale de l'arbre entier, soit 47 490 tonnes, est une approximation vraisemblable de la biomasse totale, soit 51 866 tonnes, obtenue à partir des données de base de l'arbre présentées au tableau 10. L'utilisation des proportions propres aux essences a permis de réduire plus facilement les variations qui auraient pu être introduites par des différences dans la densité du bois entre les trois essences utilisées dans l'exemple. Comme on le montre ci-dessous, l'utilisation des données sur la répartition des diamètres devrait contribuer à réduire davantage les biais potentiels dans les estimations qui utilisent les facteurs de conversion.

c. Méthode recommandée

L'expérience montre que des biais importants peuvent survenir lors de la conversion directe du volume total d'une propriété en biomasse. Cependant, si on connaît la répartition des essences et des diamètres, on peut s'attendre à un biais beaucoup moins important, à condition que la répartition des essences et des diamètres du «modèle» correspondent à celles de la population cible. Si l'échantillonnage original de la population et la compilation ultérieure ont produit un tableau de peuplement et de stock basé sur l'essence, comme celui indiqué au tableau 5, on a alors en main un excellent modèle, à condition, évidemment, qu'on ait employé un plan d'échantillonnage représentatif. Cette approche, qui est décrite en détail par Baskerville (1972), est appliquée de la façon suivante :

- choisir pour chaque essence une série appropriée d'équations de la biomasse basées sur D ou D et H;
- évaluer, pour le point médian de chaque classe D, la hauteur correspondante à l'aide d'une équation de la hauteur sur le diamètre. On suppose que le point médian représente la moyenne de la classe;
- au moyen de la série d'équations de la biomasse, inscrire avec le point médian de D et, au besoin, la valeur de H correspondante pour déterminer la biomasse de l'arbre entier et de ses composantes;
- multiplier ces estimations par le nombre d'arbres par hectare vis-à-vis chaque classe de diamètre et essence pour obtenir une série d'estimations par hectare;
- faire la somme des estimations par classe de diamètre et par essence pour produire des totaux marginaux;
- ajouter les marges afin d'obtenir les totaux par hectare;
- multiplier les estimations par hectare par la superficie pour estimer la biomasse de l'arbre entier et de ses composantes pour la population cible.

La méthode susmentionnée est illustrée au moyen des exemples présentés aux sections 1 et 2.

Il faut d'abord obtenir une table de peuplement et de stock pour chaque strate ou pour l'ensemble de la population. Pour simplifier, nous avons fait un tableau pour la population échantillonnée (tableau 26) à partir des données de base fournies au tableau 10.

Ensuite, disposer les données de façon à ce que les quantités de biomasse des composantes puissent être calculées. Les équations de la biomasse de l'arbre, présentées à la section 2, sont utilisées dans cette illustration. Employer une équation existante de la hauteur sur le diamètre pour estimer la hauteur de l'arbre correspondant à chaque classe de diamètre. Utiliser les équations de l'arbre pour chaque essence afin de déterminer la biomasse de l'arbre entier (tableau 27).

Tableau 21. Répartition des strates par essence

Strate	Essence	Pourcentage du volume total	Volume proportionnel (m^3)	
I	Épinette	69	40 562	
	Pin	19	11 169	
	Peuplier	12	7 054	
				58 785
II	Épinette	2	561	
	Peuplier	98	27 513	
				28 074

Tableau 22. Densités de base du bois de tige

Essence	Densité du bois de tige (kg/m^3)
Épinette	386
Pin	412
Peuplier	406

Tableau 23. Biomasse des composantes de l'arbre en pourcentage de la biomasse du bois de tige

Essence	Bois de la tige	Écorce de la tige	Branches vivantes	Rameaux et feuilles	Arbre entier
Épinette	100	10	8	12	130
Pin	100	8	5	7	120
Peuplier	100	26	23	3	152

Tableau 24. Conversion du volume total de la tige en masse anhydre totale

Strate	Essence	Volume total (m^3)	Taux de conversion (kg/m^3)	Masse anhydre totale (tonnes)
I	Épinette	40 562	386	15 657
	Pin	11 169	412	4 602
	Peuplier	7 054	406	2 864
II	Épinette	561	386	217
	Peuplier	27 513	406	11 170
Total				34 510

Tableau 25. Biomasse des composantes de l'arbre (tonnes)

Essence	Bois de la tige	Écorce de la tige	Branches vivantes	Rameaux et feuilles	Arbre entier
Épinette	15 874	1 587	1 270	1 905	20 636
Pin	4 602	368	230	322	5 522
Peuplier	14 034	3 649	3 228	421	21 332
Total	34 510	5 604	4 728	2 648	47 490

Tableau 26. Tableau de peuplement pour la population échantillonnées

Classe de diamètre (cm)	Épinette	Pin	Tiges par hectare	
			Peuplier	Toutes les essences
10	29			29
15	29		14	43
20	44	14	57	115
25	57	14	14	85
30+	14		14	28
Total	173	28	99	300

Tableau 27. Calcul de la biomasse de l'arbre entier

Essence	Diamètre (cm)	Hauteur (m)	Biomasse de l'arbre entier (kg)	Tiges par hectare	Biomasse de l'arbre entier (tonnes/ha)
Épinette	10	9,1	16,6	29	0,5
	15	13,5	55,3	29	1,6
	20	16,1	117,3	44	5,2
	25	21,2	241,4	57	13,8
	30	24,0	393,5	14	5,5
Pin	20	18,1	137,5	14	1,9
	25	22,8	270,7	14	3,8
Peuplier	15	13,0	65,7	14	0,9
	20	17,5	157,2	57	9,0
	25	23,3	327,1	14	4,6
	30	24,6	497,3	14	7,0
Total					53,8

Les valeurs de la biomasse de l'arbre entier sont multipliées par les tiges par hectare, et le poids en kilogrammes est converti en tonnes. Le total est multiplié par la superficie pour obtenir une autre estimation de la biomasse totale de l'arbre entier, c'est-à-dire 53,8 x 911,6 = 49 044 tonnes, qui se rapproche un peu plus du total calculé à partir des données de base sur l'arbre.

La méthode recommandée aide à réduire le biais en utilisant la table de peuplement qui nous renseigne sur la répartition des arbres par classe de diamètre et par essence. Cependant, il se peut que cette méthode produise néanmoins des estimations peu fiables surtout parce que la table de peuplement est le résultat d'un échantillonnage et, qu'en conséquence, elle représente une condition moyenne basée sur des données recueillies dans des peuplements dont la structure et la composition des essences varient considérablement. Le lecteur est averti de nouveau de ne pas trop se fier aux résultats obtenus par les facteurs de conversion.

5. Ajustements pour les données manquantes

Il se peut qu'au cours d'un nouveau traitement des données sur les placettes-échantillons en vue de produire des estimations de la biomasse (section 2) et d'une conversion des résultats de volume en biomasse (section 4), plusieurs parties importantes d'une population n'aient pas été incluses dans l'échantillon. Il est possible qu'on ait exclu des placettes-échantillons originales les arbres dont le diamètre était inférieur à une valeur seuil prescrite ou les espèces d'arbres et d'arbustes de peu ou point de valeur marchande. De telles exclusions sont imposées, en premier lieu, pour réduire les coûts de la collecte et du traitement d'un matériel sans grand intérêt. En termes de biomasse cependant, ce matériel peut prendre de l'importance et doit être comptabilisé. De même, il est possible que, lors de la conversion des données de volume en biomasse, de petits matériaux et certaines essences n'aient pas été pris en compte dans les estimations. De plus, lorsqu'on fait état des volumes marchands plutôt que des volumes totaux bruts, les parties non marchandes de la tige sont absentes de la même façon que les volumes totaux qui ne comprennent pas le feuillage, les rameaux, les branches vivantes et les composantes de l'écorce. De même, les volumes nets sont le résultat de déductions pour tenir compte du pourrissement, des défauts et (peut-être) des éléments brisés. Cette section présente un aperçu des approches qui permettraient de tenir compte de ces exclusions.

a. Exclusions des petits arbres

Les répartitions de fréquence des arbres dans un peuplement peuvent être caractérisées par la formule présentée à la figure 12. Si l'on n'a pas échantillonné les arbres dont le diamètre était inférieur à 9,1 cm, la biomasse des arbres et des arbustes de cette dimension ne figure pas dans le relevé. Deux approches peuvent être utilisées pour estimer la biomasse de cette partie exclue et pour l'ajouter à la portion incluse : le sous-échantillonnage de la population cible pour couvrir la partie manquante ou l'emploi de données existantes provenant d'une population semblable.

Le sous-échantillonnage consiste à ré-échantillonner la population afin de recueillir les données manquantes. Comme la partie manquante est généralement moins importante que la portion incluse, seulement un pourcentage de l'échantillon original fera l'objet d'un nouveau relevé, une sous-placette plus petite peut suffire, ou on combine les deux options. Le nouvel échantillonnage est essentiellement simple et suit en grande partie la méthode d'échantillonnage originale. Cependant, il est coûteux et n'est employé que rarement dans la pratique.

La seconde approche utilise des données existantes, qui proviennent généralement d'autres inventaires ou d'études, comme substitut ou «modèle» pour les données manquantes. Par exemple, Alemdag (1982b) décrit et illustre une méthode qui permet de déterminer le rapport de la portion manquante de biomasse à la partie incluse pour différentes valeurs limites du diamètre. Dans l'exemple d'Alemdag, une valeur limite (diamètre) de 5,1 cm pour un peuplement de pin gris particulier indique que la partie exclue représentait 0,43 % de la portion incluse; une valeur limite de 9,1 cm exclut 1,53 %. Avec cette approche, on suppose que la structure (c'est-à-dire la répartition des classes de dimension pour les arbres du peuplement) du modèle est semblable à celle d'un peuplement dont la condition est ajustée. Cependant, étant donné l'emploi de rapports, la biomasse ou le volume total des peuplements respectifs ne doivent pas nécessairement être similaires.

La structure du peuplement est cruciale pour le succès de l'ajustement. En conséquence, des tableaux de peuplement ou un graphique représentant la fréquence des arbres, comme à la figure 12 ou à la version plus complète de la figure 13, peuvent être d'une grande utilité pour juger du degré d'appariement d'un modèle avec un cas particulier.

Supposons que la structure du peuplement indiquée à la figure 12 soit utilisée comme modèle pour estimer la proportion de biomasse sous une valeur limite de 9,1 cm pour le diamètre. Le modèle, reproduit à la figure 13, est accompagné de deux peuplements additionnels, comprenant des arbres dont le diamètre est inférieur à 9,1 cm, qui sont présentés pour les besoins de l'exposé mais pour lesquels, selon notre hypothèse, nous manquons de données en pratique. Quelles sont les conséquences de l'utilisation d'un tel modèle pour l'estimation des proportions? Dans le cas du peuplement n° 1, la figure 13 montre que la proportion de petits arbres est supérieure à celle du modèle. Cette situation est également reflétée dans les quantités de tiges au tableau 28, qui indique la biomasse du bois de la tige pour chaque classe de diamètre. Le rapport de la biomasse sous la valeur limite de 9,1 cm à celle obtenue avec une valeur supérieure pour le modèle est de 2,3 %. Bien que le modèle et le peuplement n° 1 aient une biomasse totale semblable, le rapport pour le peuplement n° 1 est de 11,5 %. En conséquence, le modèle sous-estime vaguement la biomasse lorsque le diamètre est inférieur à 9,1 cm. Toutefois le peuplement n° 2, dont la biomasse totale est très inférieure à celle du modèle, présente une répartition de classes de dimension (structure) semblable ainsi qu'un rapport qui se rapproche de celui du modèle. En conséquence, le modèle fournit une assez bonne estimation de la biomasse des matériaux dont le diamètre est inférieur à 9,1 cm dans le peuplement n° 2. Les histogrammes de la figure 13 et les tables de peuplement au tableau 28 sont utiles pour déterminer si un modèle particulier peut être utilisé ou non. Il va de soi que les peuplements en question comporteront des lacunes sous le rapport des petits arbres et donc de la structure, mais

Tableau 28. Répartition de fréquence et de biomasse du bois de tige pour trois peuplements

Classe de diamètre (cm)	Hauteur (m)	Modèle		Peuplement 1		Peuplement 2	
		Arbre par hectare	Biomasse du bois de la tige (kg/ha)	Arbres par hectare	Biomasse du bois de la tige (kg/ha)	Arbre par hectare	Biomasse du bois de la tige (kg/ha)
0	1,3	333	55	500	30	150	10
2	3,5	467	83	700	125	200	53
4	5,5	400	443	775	858	100	249
6	7,2	100	328	700	2287	75	408
8	8,7	108	758	600	4210	60	526
10	10,0	108	1363	481	6068	63	794
12	11,2	138	2795	407	8242	48	972
14	12,2	183	5498	372	11176	75	2253
16	13,1	175	7364	147	6185	51	2146
18	13,8	200	11279	101	5696	62	3496
20	14,5	171	12487	92	6718	31	2264
22	15,1	138	12689	58	5333	40	3677
24	15,6	71	8035	63	7130	19	2150
26	16,1	46	6286	11	1503	21	2869
28	16,5	25	4069	0	0	11	1786
30	16,8	8	1523	0	0	0	0
Total		2671	75000	4704	65 561	1396	23 663
Résumé							
0 - 9,0 cm			1667		7510		882
9,1 - 30,0			73 333	65 561	22 841		
Rapport (%)			2,3		11,5		3,6

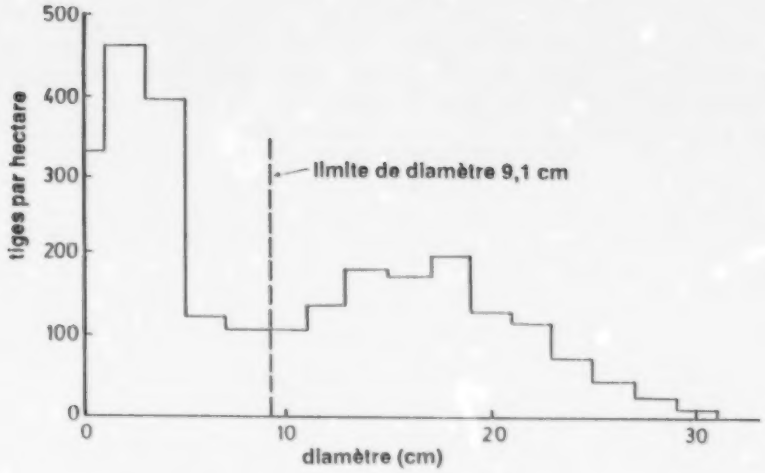

Figure 12. Exemple de la distribution de fréquence des arbres dans un peuplement par classes de diamètre.

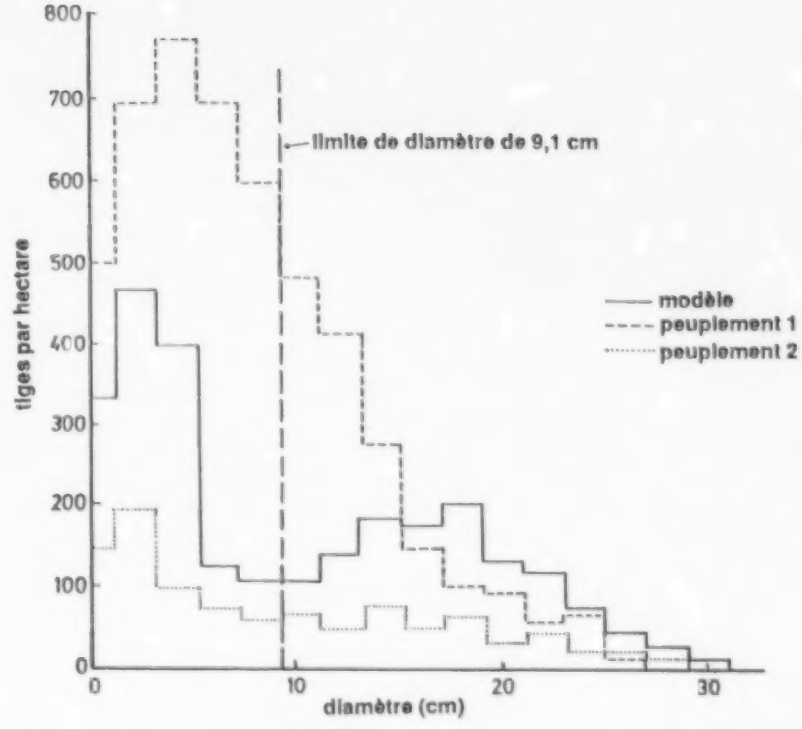

Figure 13. Distribution de fréquence pour trois peuplements par classes de diamètre : le peuplement modèle à la figure 12, et deux peuplements ayant une structure différente.

l'utilisateur peut extrapoler la forme générale d'après l'expérience acquise avec des données provenant de peuplements semblables. L'utilisation de telles données est réellement une méthode de vérification qui est extrêmement importante pour n'importe quel type de modélisation. L'utilisateur doit constamment se demander si le modèle est une représentation vraisemblable du cas à l'étude et s'il est réaliste.

Alemdag (1982b) décrit et illustre d'autres variations de l'emploi des rapports pour remédier au problème des parties manquantes. Les exemples révèlent, incidemment, que pour les arbres dont le diamètre est égal ou inférieur à 5,1 cm, la partie de la biomasse manquante est habituellement petite.

b. Exclusions des essences non marchandes

L'approche adoptée dans le cas des ajustements effectués pour l'absence d'essences non marchandes dans un inventaire est semblable à celle qui est employée pour les arbres manquants. Soit on échantillonne de nouveau la population pour recueillir la partie non marchande, soit on cherche un substitut ou un analogue existant. Dans ce dernier cas, il est improbable que l'utilisation d'un analogue soit un procédé fiable. Un type de couvert forestier ou de peuplement particulier qui abrite une quantité peu importante d'essences non commerciales peut ne pas comporter ces essences dans un autre cas ou les présenter dans des proportions très différentes. Les peuplements constitués exclusivement ou en majorité d'essences non marchandes seront très difficiles à estimer avec précision à l'aide de projections effectuées d'après d'autres inventaires ou études. En conséquence, on recommande l'exécution d'un nouveau relevé comme seul moyen fiable pour le traitement des essences non marchandes. Cependant, la carte typologique originale peut être d'une grande utilité pour orienter l'effort d'échantillonnage vers des endroits où l'on a le plus de chances de trouver des essences non marchandes. Dans certains peuplement, il est très peu probable que l'on trouve des essences non marchandes, alors que dans d'autres, les chances sont plus grandes. Sur certaines terres, qui ont peut-être été classées et cartographiées généralement comme terrains broussailleux, zones d'éboulements, champs abandonnés, etc., il est très probable que l'on trouve une proportion élevée d'essences non marchandes. En conséquence, on peut attribuer des poids aux types de couvert forestier et s'en servir pour accroître le degré d'exactitude de l'échantillonnage. Dans le cas contraire, le nouveau relevé suivra la plupart des méthodes appliquées aux études traditionnelles effectuées sur le terrain (section 1).

c. Exclusion des composantes non marchandes

Le problème de la récupération des composantes non marchandes exclues d'un arbre ne s'applique que dans le cas où toutes les données d'échantillonnage de base de l'arbre manquent et que l'on doit avoir recours aux conversions du volume marchand en biomasse. Si les arbres-échantillons existent, on peut alors estimer toutes les composantes de l'arbre au moyen des équations de l'arbre, y compris les composantes non marchandes (chapitre III, section 6).

Comme dans les deux cas précédents, s'il est impossible de déterminer directement la fraction non marchande, deux options sont à considérer : soit un ré-échantillonnage visant à estimer les proportions, soit l'emploi d'une approximation au moyen d'un analogue étroitement lié. Si l'on choisit le ré-échantillonnage, le procédé est semblable à celui d'un nouvel échantillonnage. Les résultats sont fiables, mais le relevé est trop coûteux dans la plupart des cas. Pour ce qui est de l'emploi de données d'inventaires similaires afin de construire un modèle pour l'estimation de la portion non marchande, dans la majorité des cas, on doit se servir des tableaux de peuplements. Autrement, les proportions globales risquent trop d'être erronées parce que les parties marchandes et non marchandes sont modifiées par la taille des arbres. En conséquence, les répartitions de diamètre, comme celles qui figurent dans les tableaux de peuplement, constituent le minimum acceptable. La méthode d'utilisation d'un tableau de peuplement s'inspire des équations de qualité marchande construites par Alemdag (1982a) ainsi que de la méthode décrite dans la section 6 du chapitre III.

6. Résumé

Lorsqu'il conçoit un inventaire de la biomasse forestière, le planificateur doit connaître parfaitement les méthodes actuelles d'inventaire forestier utilisées au Canada. Celles-ci sont principalement conçues, élaborées et mises en application par les

provinces et les territoires. Bien que ces méthodes puissent varier d'une province ou d'un territoire à l'autre, des progrès considérables d'uniformisation ont été réalisés grâce à la conversion métrique, aux activités du comité fédéral-provincial de l'inventaire forestier et à la mise au point d'une nouvelle technologie comme le système d'information géographique. Ce dernier joue déjà un rôle important dans l'inventaire forestier. Les compagnies adoptent généralement les méthodes des provinces ou des territoires où elles exercent leurs activités. L'inventaire de la biomasse devrait dans l'ensemble tirer avantage des méthodes actuelles d'inventaire et y être intégré.

Si les données sur les placettes-échantillons sont restées intactes, cela veut dire que la plus grande partie du travail coûteux (c'est-à-dire l'interprétation des photographies, la cartographie, l'échantillonnage sur le terrain et la compilation) est déjà faite. La construction des équations de la biomasse de l'arbre ou l'adaptation des équations existantes ainsi que la modification mineure des méthodes de compilation constitueront les principales tâches à accomplir. On peut réduire considérablement le chevauchement des travaux en intégrant l'inventaire de la biomasse à la méthodologie actuelle de l'inventaire forestier.

Lorsque c'est possible, on doit préférer l'utilisation des équations de la biomasse de l'arbre d'un modèle approprié pour chaque essence à l'emploi des facteurs de conversion ou de rapports. Des méthodes appropriées d'échantillonnage pour la sélection d'arbres en vue de la construction ou de la validation des équations de l'arbre et des plans d'échantillonnage statistiquement défendables contribueront fortement à assurer la fiabilité des estimations de la biomasse, particulièrement la réduction du biais qui peut fausser les estimations. Il ne faut utiliser les conversions du volume en biomasse qu'en dernier ressort parce qu'il est difficile d'employer des conversions qui incluent toutes les composantes principales des peuplements et représentent adéquatement la zone forestière inventoriée.

RÉFÉRENCES

Alemdag, I.S. 1978. An analytical look at the log volume formulas. Serv. can. forêts, Institut d'aménagement forestier. 17 p.

Alemdag, I.S. 1980. Manuel de collecte et de traitement des données pour l'établissement des relations de la biomasse forestière. Serv. can. forêts, Inst. for. nat. Petawawa. Rapp. inf. PI-X-4F, 38 p.

Alemdag, I.S. 1981. Équations de masse pour la portion épigée de six essences de feuillus dans des peuplements naturels de la forêt expérimentale de Petawawa. Serv. can. forêts, Inst. for. nat. Petawawa. Rapp. inf. PI-X-6F, 9 p.

Alemdag, I.S. 1982a. Biomasse des parties marchandes et non marchandes de la tige. Serv. can. forêts, Inst. for. nat. Petawawa. Rapp. inf. PI-X-20F, 20 p.

Alemdag, I.S. 1982b. Methods of estimating forest biomass from stand volumes: a case study with Ontario jack pine. Pulp and Paper Can. 83(9): 41-43.

Alemdag, I.S. 1982c. Aboveground dry matter of jack pine, black spruce, white spruce and balsam fir trees in two localities in Ontario. For. Chron. 58(1): 26-30.

Alemdag, I.S. 1983. Équations de masse et facteurs de valeur marchande pour les résineux de l'Ontario. Serv. can. forêts, Inst. for. nat. Petawawa. Rapp. inf. PI-X-23F, 24 p.

Alemdag, I.S. 1984a. Variation de la densité du bois de 28 espèces forestières de l'Ontario. Serv. can. forêts, Inst. for. nat. Petawawa. Rapp. inf. PI-X-45F, 12 p.

Alemdag, I.S. 1984b. Équations de la biomasse de l'arbre entier et de la tige marchande pour les feuillus de l'Ontario. Serv. can. forêts, Inst. for. nat. Petawawa. Rapp. inf. PI-X-46F, 54 p.

Alemdag, I.S. 1986. Estimating ovendry mass of trembling aspen and white birch using measurements from aerial photographs. Journal canadien de recherche forestière. 16(1): 163-165.

Alemdag, I.S.; Bonnor, G.M. 1985. Biomass inventory of federal lands at Petawawa: a case study. For. Chron. 61(2): 81-86.

Alemdag, I.S.; Honer, T.G. 1977. Metric relationships between breast height and stump diameter for eleven tree species from eastern and central Canada. Serv. can. forêts, FMR-X-49. 62 p.

Alemdag, I.S.; Horton, K.W. 1981. Single-tree equations for estimating biomass of trembling aspen, largetooth aspen and white birch in Ontario. For. Chron. 57(4): 169-173.

Alemdag, I.S.; Stiell, W.M. 1982. Spacing and age effects on biomass production in red pine plantations. For. Chron. 58(5): 220-224.

Anon. 1973. Metric practice guide. Association canadienne de normalisation. 44 p.

Anon. 1982. Procedures for estimating Newfoundland's biomass reserves. ENFOR Report P-146. 60 p.

Art, H.W.; Marks, P.L. 1971. A summary table of biomass and net annual primary production in forest ecosystems of the world. Pages 3-32 *in* Proc. IUFRO Working group on forest biomass studies. Univ. of Florida, Gainsville and Univ. of Maine, Orono, Life Sciences and Agricultural Experiment Station.

Baskerville, G.L. 1972. Use of logarithmic regression in the estimation of plant biomass. Journal canadien de recherche forestière. 2:49-53.

Bella, I.E.; De Franceschi, J.P. 1980. Biomass productivity of young aspen stands in western Canada. Serv. can. forêts, Centre de foresterie du Nord. Rapp. inf. NOR-X-219. 23 p.

Bonnor, G.M., coord. 1978. A guide to forest inventory: terminology and usage (2^{e} éd.). Publié pour le Comité canadien de

l'inventaire forestier par le Serv. can. forêts. 57 p.

Bonnor, G.M. 1982a. Inventaire des forêts du Canada 1981. Serv. can. forêts, Direction de la statistique forestière et des systèmes, rapport de l'Inst. for. nat. Petawawa. 79 p.

Bonnor, G.M. 1982b. Forest inventories in Canada. Forestry Abstracts Review Article 43(4): 201-211.

Bonnor, G.M. 1985. Inventaire de la biomasse forestière du Canada. Serv. can. forêts, Inst. for. nat. Petawawa. 63 p.

Bonnor, G.M. 1987. Forest biomass inventory. *In* Hall, D.O.; Overend, R.P., coord. Biomass: Regenerable energy. John Wiley and Sons Ltd. 720 p.

Chiyenda, S.S.; Kozak, A. 1984. Additivity of component regression biomass equations when the underlying model is linear. Journal canadien de recherche forestière. 14:441-446.

Cochran, W.G. 1963. Sampling techniques. Wiley, New York. 413 p.

Cunia, T. 1979. On tree biomass and regression: Some statistical comments. Pages 629-642 *in* Proc. of SAF., Forest Resource Inventories Workshop, juillet 23-26, 1979. Fort Collins, Colo.

Cunia, T. 1986. Evaluating errors of tree biomass regressions by simulation. SUNY, College of Environ. Sci. and For., Syracuse, N.Y. Rapport inédit.

Cunia, T.; Briggs, R.D. 1984. Forcing the additivity of biomass tables: some empirical results. Journal canadien de recherche forestière. 14: 376-384.

Cunia, T.; Briggs, R.D. 1985. Forcing additivity of biomass tables: use of generalized least squares method. Journal canadien de recherche forestière. 15: 23-28.

Draper, N.R.; Smith, H. 1966. Applied regression analysis. Wiley, New York. 407 p.

Evert, F. 1983. Système national d'équations pour évaluer la masse anhydre du peuplier faux-tremble *Populus tremuloides* Michx. Serv. can. forêts, Inst. for. nat. Petawawa. Rapp. inf. PI-X-24F, 23 p.

Evert, F. 1985. Systèmes d'équations pour calculer la masse anhydre de 18 essences canadiennes. Serv. can. forêts, Inst. for. nat. Petawawa. Rapp. inf. PI-X-59F. 49 p.

Freedman, B.; Duinker, P.N.; Barclay, H.; Morash, R.; Prager, U. 1982. Forest biomass and nutrient studies in central Nova Scotia. Serv. can. forêts, Centre de foresterie des Maritimes, Rapp. inf. M-X-134. 20 p.

Freese, F. 1962. Elementary forest sampling. USDA Forest Serv., Handbook No. 232. 91 p.

Freese, F. 1964. Linear regression methods for forest research. USDA Forest Serv. Res. Pap. FPL17. 136 p.

Hitchcock, H.C. 1979. Converting traditional CFI data into biomass values: A case study. Pages 544-595 *in* Proc. SAF Forest Resource Inventory Workshop, juillet 23-29, 1979. Fort Collins, Colo.

Honer, T.G. 1967. Standard volume tables and merchantable conversion factors for the commercial tree species of central and eastern Canada. Serv. can. forêts, For. Manage. Res. and Serv. Inst. app. inf. FMR-X-5. 21 p.

Honer, T.G.; Ker, M.F.; Alemdag, I.S. 1983. Tarifs de cubage pour les essences forestières marchandes du centre et de l'est du Canada. Serv. can. forêts, Centre de foresterie des Maritimes Rapp. inf. M-X-140. 139 p.

Horton, K.W. 1981a. Biomass yield tables for aspen in Ontario. Serv. can. forêts, rapport de l'entrepreneur. 9 p. et tableaux.

Horton, K.W. 1981b. Biomass potential for aspen and white birch in Ontario. Serv. can. forêts, rapport de l'entrepreneur. 33 p.

Hosie, R.C. 1972. Arbres indigènes du Canada. 7e éd. Serv. can. forêts, Min. de l'Environnement. 389 p.

Husch, B.; Miller, C.I.; Beers, T.W. 1982. Forest mensuration. Wiley, New York. 402 p.

Jensen, C.E. 1964. Algebraic description of forms in space. USDA Forest Serv., Central States For. Exp. Sta., Columbus, Ohio. 57 p.

Johnston, J. 1963. Econometric methods. McGraw-Hill, New York. 300 p.

Keays, J.L. 1971. Complete tree utilization - résumé of a literature review. Pages 93-102 *in* IUFRO Working Group on Forest Biomass Studies, Univ. of Florida, Gainsville.

Ker, M.F. 1973. Dry matter production in a young balsam fir stand in western Newfoundland. Serv. can. forêts, Centre de foresterie de Terre-Neuve. Rapp. inf. N-X-103. 31 p.

Ker, M.F. 1980a. Tree biomass equations for ten major species in Cumberland County, Nova Scotia. Serv. can. forêts, Centre de foresterie des Maritimes. Rapp. inf. M-X-108. 26 p.

Ker, M.F. 1980b. Tree biomass equations for seven species in southwestern New Brunswick. Serv. can. forêts, Centre de foresterie des Maritimes. Rapp. inf. M-X-114. 18 p.

Ker, M.F. 1984. Équations pour le calcul de la biomasse de sept importantes espèces d'arbres des Maritimes. Serv. can. forêts, Centre de foresterie des Maritimes. Rapp. inf. M-X-148F, 54 p.

Kozak, A. 1970. Methods of ensuring additivity of biomass components by regression analysis. For. Chron. 46(5): 402-404.

Lavigne, M.B. 1982. Tree mass equations for common species of Newfoundland. Serv. can. forêts, Centre de foresterie de Terre-Neuve. Rapp. inf. N-X-213. 39 p.

Lavigne, M.B.; van Nostrand, R.S. 1981. Biomass equations for six tree species in central Newfoundland. Serv. can. forêts, Centre de foresterie de Terre-Neuve. Rapp. inf. N-X-199. 51 p.

MacQuarrie, G.D. 1983. Trial conversion of conventional inventory data to biomass data in Nova Scotia. Projet ENFOR P-247. 19 p.

Madgwick, H.A.I.; Satoo, T. 1975. On estimating the above-ground weights of tree stands. Ecology 56: 1446-1450.

Manning, G.H.; Massie, M.R.C.; Rudd, J. 1984. Metric single-tree weight tables for the Yukon Territory. Serv. can. forêts, Centre de foresterie du Pacifique. Rapp. inf. BC-X-250. 60 p.

Nielsen, U.; Aldred, A.H.; MacLeod, W.A. 1979. A forest inventory in the Yukon using large-scale photo sampling techniques. Serv. can. forêts, For. Manage. Inst. Rapp. inf. FMR-X-121. 40 p.

Ouellet, D. 1983a. Équations de biomasse pour l'épinette noire au Québec. Serv. can. forêts, Centre de foresterie des Laurentides. Rapp. inf. LAU-X-60. 27 p.

Ouellet, D. 1983b. Équations de prédiction de la biomasse de douze essences commerciales du Québec. Serv. can. forêts, Centre de foresterie des Laurentides. Rapp. inf. LAU-X-62. 34 p.

Payandeh, B. 1981. Choosing regression models for biomass prediction questions. For. Chron. 57(5): 229-232.

Peterson, E.B.; Levson, V.M.; Kabsems, R.D. 1982. Upper limits of standing crop density for wood species in the prairie provinces. Serv. can. forêts, Centre de foresterie du Nord. Rapp. inf. NOR-X-243. 55 p.

Raj, D. 1968. Sampling theory. McGraw-Hill, New York. 302 p.

Rowe, J.B. 1972. Les régions forestières du Canada. Serv. can. forêts, publ. no 1300, 172 p.

Singh, T. 1982. Biomass for ten major tree species of the prairie provinces. Serv. can. forêts, Centre de foresterie du Nord. Rapp. inf. NOR-X-242. 35 p.

Singh, T. 1984a. Conversion of tree volume to biomass in the prairie provinces. Serv. can.

forêts, Centre de foresterie du Nord., For. Manage. Note No. 28.

Singh, T. 1984b. Biomass equations for six major tree species of the Northwest Territories. Serv. can. forêts, Centre de foresterie du Nord. Rapp. inf. NOR-X-257. 22 p.

Smith, V.G. 1975. An overview of Canadian forest inventory methods. Proc. Canadian Forest Inventory Methods Workshop. Univ. of Toronto Press. 283 p.

Smith, V.G. 1976. Canadian forest inventory methods. For. Chron. 52(1): 9-14

Snedecor, G.W.; Cochran, W.G. 1967. Statistical methods. Iowa St. Univ. Press, Ames, Iowa. 593 p.

Spurr, S.H. 1952. Forest Inventory. The Ronald Press Co., NY. 476 p.

Standish, J.T.; Manning, G.H.; Demaerschalk, J.P. 1985. Development of biomass equations for British Columbia tree species. Serv. can. forêts, Centre de foresterie du Pacifique. Rapp. inf. BC-X-264. 47 p.

Stanek, W.; State, D. 1978. Equations predicting productivity (biomass) of trees, shrubs and lesser vegetation based on current literature. Serv. can. forêts, Centre de foresterie du Pacifique Rapp. inf. BC-X-183. 58 p.

Thomas, J.B. 1981. Biomass inventory of tolerant hardwoods in Algoma, Ontario. Serv. can. forêts, rapport de l'entrepreneur. 25 p. et ann.

ANNEXE A

Glossaire

Les définitions du glossaire s'appuient principalement sur la terminologie provenant des sources suivantes:

Alemdag 1980, 1981 et 1982a
Anon. 1973
Bonnor 1978, 1982a et 1985
Freese 1962
Keays 1971

Les auteurs susmentionnés sont cités dans la bibliographie. Dans certains cas, les définitions sont une reproduction textuelle de la source; dans d'autres, nous les avons modifiées pour tenir compte du contexte de la biomasse. En outre, nous avons établi nous-mêmes quelques définitions pour compléter la signification de certains termes.

Amortissement par épuisement: Réduction du volume dans une zone forestière aménagée par le déboisement, les incendies, les dommages dus aux insectes et aux maladies ou à d'autres causes.

Arbre: N'importe quelle espèce de plante ligneuse vivace qui, selon des tests de dendrologie reconnus, est définie comme un arbre. Voir *arbuste*.

Arbre entier: Comprend toutes les parties composantes comme le bois de tige avec la souche et le fin bout, l'écorce de la tige avec la souche et le fin bout, les branches vivantes, les brindilles et les feuilles (ou les aiguilles), et les fruits (ou les cônes). Les racines peuvent être incluses dans certaines circonstances. Voir *biomasse aérienne, biomasse forestière, biomasse de l'arbre*.

Arbre fourchu: Arbre qui est fourchu à une hauteur supérieure à 1,30 m au-dessus du sol. Si la fourche survient à 1,30 m ou moins, on considère qu'il ne s'agit plus d'un arbre mais de deux.

Arbre marchand: Arbre dont le diamètre à hauteur de poitrine est égal ou supérieur au diamètre marchand.

Arbuste: Toute espèce de plante ligneuse vivace qui, selon un système taxinomique reconnu, est définie comme arbuste. Voir *arbre*.

Bas de la souche: Endroit où la souche rejoint le niveau moyen du sol. Voir *niveau du sol*.

Biais: Différence entre la valeur prévue d'une estimation et la valeur réelle de la quantité à estimer. Voir *exactitude, précision*.

Biomasse: Quantité de matériaux vivants dans un écosystème donné qui est exprimée en termes de masse. Voir *masse*.

Biomasse aérienne: Biomasse d'un arbre vivant comprenant le bois de la tige, l'écorce de la tige, les branches vivantes, les brindilles et les feuilles ou aiguilles de même que les fruits ou cônes. Voir *biomasse forestière, arbre entier*.

Biomasse de l'arbre: Masse de la portion épigée d'un arbre vivant. Voir *arbre entier*.

Biomasse forestière: Masse totale des plantes ligneuses vivantes qui croissent dans une zone, comprenant le bois de la tige, l'écorce de la tige, les branches vivantes, les brindilles, les feuilles ou les aiguilles, les fruits ou les cônes. Cette masse est habituellement mesurée en tonnes par hectare. Les racines sont parfois incluses. Voir *biomasse aérienne, arbre entier*.

Bois de rebut: Arbres, billes ou sections de ces matériaux qui ont une taille marchande mais qui ne sont plus commercialisables en raison de défauts.

Bois de souche: Bois de la tige d'un arbre entre le niveau du sol et une hauteur de souche déterminée.

Bois de tige: Bois de la tige d'un arbre entre le niveau du sol et l'extrémité de l'arbre.

Bois de tige marchand: Bois de la tige compris entre la hauteur de souche et celle du diamètre minimal au fin bout.

Branches: Bois et écorce d'un arbre qui s'étendent de la tige principale au feuillage, excluant les brindilles. Voir *grande branche, petite branche*.

Brindilles: Sections porteuses de feuilles des branches vivantes, dont le diamètre est égal ou inférieur à 0,5 cm avec l'écorce. Voir *feuillage*.

Broussailles: Couvert végétal inférieur, constitué principalement d'arbres de petite taille ou rabougris et d'arbustes.

Broussailles: Arbustes et peuplements composés d'espèces d'arbres courts et rabougris qui n'atteignent pas la taille marchande.

Cadre d'échantillonnage: Liste ou dénombrement de toutes les unités d'échantillonnage qui constituent une population. Dans la plupart des applications, la liste est théorique plutôt que réelle en raison du nombre élevé d'éléments qu'elle pourrait comporter.

Carte de base: Carte qui fournit l'information planimétrique de base (drainage et paramètres culturaux). Elle est utilisée comme base pour la carte forestière.

Carte forestière: Carte de base à laquelle des données forestières ont été ajoutées.

Carte typologique: Carte montrant la répartition de divers types environnementaux comme le sol, la végétation ou le terrain sur toute l'étendue d'une zone forestière.

Capacité du site: Accroissement annuel moyen du volume marchand qui peut être prévu pour une zone forestière en supposant qu'elle est complètement peuplée d'une ou de plusieurs essences qui sont le mieux adaptées au site et ont atteint ou presque l'âge de rotation.

Classe de diamètre: Subdivision du domaine de variation du diamètre de la tige des arbres ou des billes; désigne aussi les arbres ou les billes dont le diamètre correspond à cette subdivision.

Classe de fertilité: Tout intervalle par lequel la gamme de valeurs des indices de station a été divisée à des fins de classement et d'usage.

Classe de hauteur: Subdivision du domaine de variation de la hauteur des arbres d'un peuplement.

Classe de potentiel du site: Subdivision du domaine de variation du potentiel des sites.

Coefficient de forme: Rapport entre le volume de la tige sans écorce et le volume d'un cylindre ayant le même diamètre et la même hauteur.

Colinéarité: Condition où une variable indépendante montre une corrélation parfaite avec un autre dans un système d'équation linéaire.

Composantes de biomasse: Voir *composantes de l'arbre, composantes de la tige, division primaire des composantes, division secondaire des composantes.*

Composantes de l'arbre: Segments selon lesquels un arbre est divisé théoriquement à des fins de classement et d'usage. Voir *division primaire des composantes.*

Composantes de la tige: Segments selon lesquels une tige d'arbre est divisée théoriquement, à des fins de classement et d'usage. Voir *division secondaire des composantes.*

Composantes du peuplement: Répartition des arbres dans un peuplement en arbres marchands et en arbres marchands secondaires.

Cônes, noix et fruits: Parties reproductrices arbre.

Densité: Rapport entre la masse d'une substance et le volume de la quantité. Voir *densité de base du bois, densité de peuplement, poids spécifique.*

Densité de base du bois: Rapport entre la masse anhydre du bois et le volume vert de la même quantité de bois, exprimé en kg/m^3. Voir *densité.*

Densité de peuplement: Mesure quantitative de la suffisance d'un couvert forestier sur une surface donnée, en fonction de la couverture de cime, du nombre d'arbres, de la surface terrière ou du volume. Dans ce contexte, le couvert forestier comprend les semis et les gaules; le concept ne sous-entend donc pas un âge donné. La densité est exprimée en nombre d'arbres par hectare. Voir *densité, matériel relatif.*

DHP: Voir *diamètre à hauteur de poitrine.*

Diamètre à hauteur de poitrine: Diamètre de la tige avec l'écorce d'un arbre qui est mesuré à

hauteur de poitrine (1,30 m au-dessus du sol). Voir *niveau du sol*.

Diamètre au fin bout: Voir *diamètre marchand au fin bout*.

Diamètre avec écorce (daé): Diamètre d'un arbre ou d'une bille incluant l'écorce.

Diamètre de la cime: Distance horizontale entre deux extrémités de la cime sur des côtés opposés de l'arbre.

Diamètre limite: Diamètre minimal et parfois maximal des arbres ou des billes que l'on doit mesurer, couper ou utiliser. Les niveaux où sont prises ces dimensions limites sont généralement les suivants : à hauteur de poitrine, au fin bout ou au collet.

Diamètre marchand: Diamètre déterminé d'un arbre à hauteur de poitrine au-dessous duquel les arbres ne sont généralement pas récoltés.

Diamètre marchand au fin bout: Pour un arbre sur pied, diamètre à hauteur marchande, c.-à-d. à l'extrémité la plus petite de la bille marchande la plus haute. La mesure est prise sans écorce. Voir *hauteur marchande*.

Diamètre minimal au fin bout: Voir *diamètre marchand au fin bout*.

Diamètre sans écorce (dsé): Diamètre d'un arbre ou d'une bille excluant le double de l'épaisseur de l'écorce.

Division primaire des composantes: S'il s'agit d'un arbre, le bois de la tige, l'écorce de la tige, les branches vivantes, les brindilles, les feuilles (ou aiguilles) et les fruits (ou cônes). Voir *biomasse d'un arbre, composantes de l'arbre, division secondaire des composantes*.

Division secondaire des composantes: S'il s'agit d'une tige d'arbre, le bois marchand, l'écorce marchande, le bois de souche, l'écorce de souche, le menu bois plus l'écorce. Voir *composantes de la tige, division primaire des composantes*.

Échantillon: Sous-série d'une ou de plusieurs unités d'échantillonnage selon lesquelles la population est divisée. Les échantillons sont choisis pour représenter la population et examinés pour estimer les caractéristiques de la population.

Échantillonnage: Sélection d'unités d'échantillonnage dans une population et mesure ou enregistrement de l'information qui y est contenue afin d'obtenir des estimations des caractéristiques de la population.

Échantillonnage par points: Méthode de sélection d'arbres à des fins de mesurage, et d'estimation de la surface terrière du peuplement à un emplacement-échantillon ou point-échantillon. On appelle aussi "échantillonnage par points" ou "échantillonnage par placettes circulaires à rayon variable", "estimation par balayage sous angle constant", ou encore "méthode de Bitterlich". Dans l'échantillonnage par points, on procède à un balayage de 360 degrés avec une jauge angulaire comme un prisme, autour d'un point fixe. Les tiges dont le diamètre à hauteur de poitrine semble plus large que l'angle fixe sous-tendu par la jauge angulaire sont incluses dans l'échantillon.

Écorce de souche: Écorce d'une tige entre le sol et hauteur d'une souche donnée.

Écorce de tige: Écorce de la tige d'un arbre, du niveau du sol jusqu'à l'extrémité de l'arbre.

Écorce de tige marchande: Écorce de la tige, depuis la hauteur de souche jusqu'à celle du diamètre minimal au fin bout.

Écorce du fin bout: Écorce d'une tige d'arbre comprise entre un diamètre déterminé de la tige (diamètre minimal au fin bout) et l'extrémité de l'arbre.

Équienne: Se dit d'une forêt, d'un peuplement ou d'un type de couvert forestier composés d'arbres dont les différences d'âge sont faibles.

Erreur d'échantillonnage: Voir *précision*.

Essence commerciale: Essence pour laquelle il existe un marché présentement.

Essence d'intérêt non commercial: Espèce d'arbre pour laquelle il n'existe pas actuellement de débouché.

Exactitude: Mesure de l'écart des estimations d'un paramètre (caractéristique) par rapport à la valeur réelle du paramètre. L'erreur quadratique moyenne est une expression courante de l'exactitude. Voir *biais, précision.*

Facteur de réfaction: Pourcentage du volume brut d'un arbre sur pied qui n'est plus commercialisable en raison de défauts.

Facteur de surface terrière: Surface terrière par unité de superficie du peuplement qui correspond à l'angle de projection d'une jauge angulaire, d'un prisme ou d'un autre instrument angulaire.

Feuillage: Matériaux organiques des arbres capables de photosynthèse. Le feuillage comprend aussi les brindilles. Voir *brindilles.*

Feuilles et aiguilles: Composantes de l'arbre qui sont capables de photosynthèse.

Feuillu: Arbres angiosperme portant des feuilles larges et généralement toutes caduques. Le terme désigne également les peuplements composés de tels arbres ainsi que le bois qu'on en tire.

Fin bout non marchand: Bois et écorce d'une tige comprise entre un diamètre déterminé (diamètre minimal au fin bout) et l'extrémité de l'arbre.

Forêt: Communauté d'arbres présentant une couverture de cime minimale de 10 pour cent.

Formule de cubage: Expression statistique de la relation entre le volume et d'autres variables de l'arbre ou du peuplement. La formule de cubage sert à estimer le volume selon les variables plus facilement mesurables comme le diamètre à hauteur de poitrine, la hauteur de l'arbre ou du peuplement et la fermeture du couvert.

Fût: Tige d'un arbre lorsqu'elle a atteint un diamètre qui permet d'en tirer du bois de sciage, des billes de placage, des grands poteaux ou du bois de pâte.

Fût de l'arbre entier: Tige de l'arbre comprenant le bois et l'écorce, de la souche jusqu'à l'extrémité supérieure.

Gaule: Jeune arbre dont le diamètre à hauteur de poitrine est supérieur à 10 cm, mais inférieur au plus petit diamètre marchand.

Grande branche: Segment de branche vivante d'au moins 2,50 m. Son diamètre à la petite extrémité est d'au moins 9,1 cm. Voir *branches, petite branche.*

Grappe: Unité d'échantillonnage statistique comprenant au moins deux placettes-échantillons ou d'autres éléments.

Hauteur de souche: Distance verticale entre le sol et le haut de la souche. Sur les pentes, le niveau du sol est généralement mesuré du côté plus élevé de la souche. La hauteur de souche peut être la hauteur réelle d'une souche coupée, ou une norme choisie arbitrairement.

Hauteur du peuplement:

a) En dendrométrie: hauteur moyenne des arbres dominants et codominants appartenant à la principale essence qui forme le peuplement.
b) En télédétection: hauteur moyenne des arbres dominants et codominants dans un peuplement.

Hauteur marchande: Longueur de la tige à partir du sol jusqu'au diamètre marchand du fin bout. Voir *diamètre marchand du fin bout.*

Identification de photographies: Tracé et identification des caractéristiques naturelles ou culturales sur les photographies aériennes.

Immature: Voir *jeune.*

Indice de station: Évaluation de la potentialité de la production forestière d'une station donnée, pour une essence donnée croissant en peuplement pur et régulier. Cette évaluation est basée sur la hauteur dominante ou codominante

du peuplement à un âge choisi arbitrairement. L'indice peut être divisé en classes de fertilité.

Inéquienne: Se dit d'un peuplement forestier ou d'un type de couvert composé d'arbres d'âges très différents. (Les différences doivent être d'au moins 10 à 15 ans.)

Interprétation des photographies: Extraction d'information de photographies ou d'autres images enregistrées.

Inventaire d'aménagement: Inventaire forestier intensif et détaillé effectué à des fins d'aménagement et portant sur une superficie considérée comme une unité.

Inventaire de reconnaissance: Vaste inventaire forestier exploratoire qui ne procure pas d'évaluations détaillées.

Inventaire d'exploitation: Inventaire forestier intensif d'une petite superficie à des fins de récolte.

Inventaire régional: Vaste inventaire forestier détaillé pour une planification provinciale ou régionale.

Jeune: En aménagement équienne, arbres ou peuplements qui ont dépassé le stade de la régénération, mais qui n'ont pas atteint l'âge d'exploitabilité.

Limite de confiance: Énoncé des limites à l'intérieur desquelles on peut s'attendre à ce que le paramètre varie avec un niveau prescrit de confiance lors de l'estimation d'un paramètre ou plus. Par exemple, on peut estimer la hauteur réelle d'un arbre à 17,2 m à l'intérieur de limites de ±1,6 m avec une probabilité de 95 pour cent.

Longueur de la cime: Distance verticale entre le fin bout d'un arbre sur pied et la base de la cime, mesurée jusqu'à la branche vivante ou le verticille de branches vivantes le plus bas.

Masse: Mesure numérique de la propriété d'un corps qui exprime qu'une force doit lui être appliquée pour changer son état de mouvement. L'unité de masse est le kilogramme dans le système international (SI), et la livre dans le système impérial. Voir *biomasse*.

Masse anhydre: Masse d'un arbre ou d'un échantillon de biomasse qui, après séchage dans une étuve, a atteint sa teneur minimale constante en humidité.

Masse verte: Masse d'un arbre ou d'un échantillon de biomasse mesurée immédiatement après la coupe.

Matériel relatif: Expression qualitative de la suffisance d'un couvert forestier sur une surface donnée, en fonction de la couverture de cime, du nombre d'arbres, de la surface terrière ou du volume, en rapport avec une norme préétablie. Voir densité de peuplement.

Maturité: Peuplements ou types de couvert qui ont dépassé l'âge de rotation. La croissance a déjà atteint son apogée.

Menu bois: Bois de la tige comprise entre un diamètre déterminé de tige (diamètre minimal au fin bout) et l'extrémité de l'arbre.

Mortalité: Mort ou destruction des arbres forestiers, due à la concurrence, aux maladies, aux insectes, à la sécheresse, au vent, aux incendies et à d'autres facteurs, à l'exclusion de la récolte.

Niveau du sol: Endroit où l'arbre touche au sol du côté amont. Voir *bas de la souche, diamètre à hauteur de poitrine*.

Non commercialisable: Se dit d'un arbre ou d'un peuplement qui n'a pas atteint une taille, une qualité ni un volume suffisants pour être récolté.

Petite branche: Segments de branches vivantes dont le diamètre au gros bout est inférieur à 9,1 cm. Voir *branches, grande branche*.

Peuplement: Communauté d'arbres dont la composition floristique, l'âge, la répartition dans l'espace ou la condition sanitaire sont suffisamment uniformes pour qu'on puisse la distinguer des peuplements voisins. Elle forme une unité élémentaire sylvicole ou d'aménagement.

Placette-échantillon: Unité ou élément d'échantillonnage dont on connaît la forme et la superficie.

Poids volumique (autrefois appelé "poids spécifique"): Rapport d'une quantité de masse à la masse d'un volume égal d'eau. Poids de l'unité de volume (p. ex. 1 cm^3) d'un corps. Voir *densité*.

Point-échantillon: Unité ou élément d'échantillonnage dans lequel les arbres sont choisis à partir d'un point avec une probabilité proportionnelle à leur surface terrière.

Population: Groupe dans lequel l'échantillon est choisi. Dans les inventaires forestiers, la population est généralement constituée d'arbres ou de bosquets d'arbres dans une zone forestière à l'étude.

Précision: Variabilité d'une série d'estimations d'échantillons; différence entre l'estimation d'un échantillon et l'estimation obtenue par un dénombrement complet en utilisant la même méthode et les mêmes procédés. En général, il s'agit d'un écart accidentel par rapport à la moyenne de l'échantillon. L'erreur quadratique moyenne (EQM) mesure de l'exactitude et illustre la relation entre la précision et le biais.

EQM = précision au carré + biais au carré

La précision ou l'erreur d'échantillonnage est généralement exprimée par l'erreur-type de l'estimation de l'échantillon, soit comme valeur absolue, soit comme pourcentage de l'estimation. Voir *exactitude, biais*.

Prisme: Instrument d'optique utilisé comme jauge angulaire et constitué d'un mince couche de verre qui établit un angle fixe (critique) de projection dans un point-échantillon.

Projection de la cime: Surface couverte par la projection verticale de la cime d'un arbre jusqu'à un plan horizontal.

Qualité stationnelle: Mesure de la capacité de production relative d'un site pour une essence ou plus.

Régénération: Renouvellement naturel ou artificiel d'un peuplement forestier.

Relascope: Jauge angulaire, utilisée dans l'échantillonnage par points, où des bandes de différentes largeurs sont observées au moyen d'un oculaire, ce qui produit des angles de projection correspondants.

Rémanents: Résidu laissé sur le sol après l'abattage, les soins culturaux et la simple accumulation causée par les tempêtes, le feu, l'annélation ou l'empoisonnement. Les résidus comprennent les grumes inutilisées, les souches déracinées ainsi que les tiges brisées et déracinées.

Résineux: Arbres porteurs de cônes et couverts d'aiguilles ou de feuilles en forme d'écaille, qui appartiennent à la classe des Gymnospermes. Le terme désigne également les peuplements qui comportent de tels arbres ainsi que le bois qu'ils produisent.

Sciages: Arbres qui produiront des grumes dont la taille et la qualité seront appropriées à la production de bois d'oeuvre.

Semis: Jeune arbre dont le diamètre à hauteur de poitrine est égal ou inférieur à 10 cm.

Site: Dans une zone, ensemble complexe de facteurs physiques et biologiques qui déterminant le type de végétation qui peut y croître. Les sites sont classés soit qualitativement d'après le climat, le sol et la végétation, soit quantitativement d'après le potentiel de production relative.

Strate: Subdivision d'une zone forestière à inventorier. La répartition d'une population en strates (stratification) est généralement effectuée pour estimer chaque strate individuellement.

Suranné: Peuplements ou types de couvert qui ont dépassé l'âge de rotation. Des ouvertures, qui se produisent dans le couvert à cause d'une certaine mortalité, sont apparentes.

Surface terrière:

a) d'un arbre: Surface en mètres carrés de la section transversale de la tige à hauteur de poitrine.
b) d'un peuplement: Surface en mètres carrés par hectare de la section transversale à hauteur de poitrine de tous les arbres.

Table de peuplement: Tableau récapitulatif montrant le nombre d'arbres par unité de superficie par essence et classe de diamètre, pour un peuplement ou type de couvert forestier. Les données peuvent aussi être présentées sous la forme d'une distribution de fréquence de classes de diamètre.

Table de rendement: Tableau récapitulatif montrant les caractéristiques, à différents âges, de peuplements (généralement équiennes) composés d'une ou plusieurs essences sur des terrains dont les qualités diffèrent. Les caractéristiques du peuplement comprennent en général le diamètre moyen, la hauteur moyenne, la surface terrière totale, le nombre d'arbres et le volume par hectare.

Table de stock: Tableau récapitulatif montrant le volume des arbres par unité de superficie par essence et classe de diamètre, pour un peuplement ou type de couvert forestier.

Tarif de cubage: Tableau montrant le volume moyen estimé de l'arbre ou du peuplement, qui correspond à des valeurs choisies d'autres variables plus facilement mesurées. Le tarif de cubage est utilisé de la même façon que la formule de cubage au moyen de laquelle il est généralement établi. Il est parfois construit d'une relation produite graphiquement entre le volume et d'autres variables de l'arbre ou du peuplement. On l'établit pour des essences individuelles ou des groupes d'essences.

Terrain forestier: Terrain sans matière ligneuse, mais qui peuvent en produire.

Terrain forestier improductif: Terrain incapable de produire un volume marchand de matière ligneuse dans un laps de temps raisonnable.

Terrain forestier productif: Terre capable de produire un peuplement marchand dans un laps de temps raisonnable.

Terrain non forestier: Terrain qui n'est pas destiné principalement à la production forestière ou qui n'est pas recouvert de forêt.

Tige: Axe principal d'une plante où se développent les bourgeons, les pousses et les branches. Chez les arbres, la tige peut s'étendre jusqu'à l'extrémité du végétal comme dans le cas des conifères, ou elle peut se perdre dans la ramification de la cime comme on peut le constater chez la plupart des feuillus.

Type (de couvert) forestier: Groupe de zones boisées ou de peuplements de composition semblable qui les distingue d'autres groupes forestiers. Les types de couvert forestier sont habituellement séparés et identifiés selon la composition des essences et souvent aussi selon les classes de hauteur et de couverture de cime. Une caractérisation poussée (typologie) peut comprendre l'âge, le site et d'autres classes. La caractérisation est habituellement effectuée sur des photographies aériennes et peut être complétée par des données recueillies sur le terrain. Les limites et les symboles de chaque type sont inscrits sur les photographies et transférés sur la carte forestière.

Type de feuillus: Type de couvert forestier dans lequel 0,25 % des arbres sont des résineux. Voir *type de résineux, type mélangé.*

Type de résineux: Couvert forestier composé de 76 à 100 % de conifères. Voir *type de feuillus, type mélangé.*

Type mélangé: Type de couvert forestier constitué de 26 à 75 % de conifères. Voir *type de feuillus, type de résineux.*

Unité d'échantillonnage: L'une des parties déterminées que l'on a utilisée pour diviser la population à des fins d'échantillonage. Chaque unité d'échantillonnage est généralement constituée d'un seul élément qui peut être une placette-échantillon, un point-échantillon ou un arbre. Si l'unité d'échantillonnage contient plus d'un élément, on parle d'une grappe. Dans l'échantillonnage probabiliste, l'unité d'échantillonnage est choisie indépendam-

ment des autres tandis que les éléments à l'intérieur d'une grappe ne le sont pas.

Variable dépendante: Dans une régression linéaire, variable qui est prévue ou estimée d'une combinaison linéaire de variables indépendantes. Elle est habituellement désignée par le symbole y.

Variable indépendante: Dans une régression linéaire, variable (souvent en combinaison avec d'autres variables indépendantes) utilisée pour prévoir ou estimer une variable dépendante. La variable indépendante est souvent désignée par le symbole x ou x_1, x_2, ...x_n, lorsqu'il y en a plusieurs.

Volume: Quantité de bois dans un arbre, un peuplement ou sur une autre superficie déterminée, selon une unité de mesure ou une norme d'utilisation donnée. L'unité de mesure peut être le mètre cube ou le mètre cube par hectare. La norme d'utilisation peut être le bois de pâte ou le bois scié. Par volume on entend habituellement le volume sans écorce. Il se détermine selon différentes indications qui comprennent la hauteur de souche, le diamètre minimal à hauteur de poitrine et le diamètre minimal au fin bout.

Volume marchand brut: Volume de la tige principale excluant la souche et le fin bout, mais incluant le bois imparfait et pourri des arbres ou des peuplements.

Volume marchand net: Volume de la tige principale excluant la souche et le fin bout ainsi que le bois imparfait ou pourri des arbres ou des peuplements.

Volume total brut: Volume de la tige principale incluant la souche et le fin bout ainsi que le bois imparfait et pourri des arbres ou des peuplements.

ANNEXE B

Normes de mesurage et équipement recommandé

A. Normes de mesurage liées aux travaux sur le terrain

1. Les classes de diamètre (D) et de hauteur ne sont spécifiées dans ce manuel que pour les besoins de l'échantillonnage. Comme les arbres sont enregistrés selon leur diamètre et leur hauteur réels, tout groupement plus approprié pour une situation particulière peut être constitué par la suite, au cours des analyses.

2. Si on rencontre un noeud en un point de la tige (y compris à hauteur de poitrine) où le diamètre doit être mesuré, on devrait enregistrer le diamètre juste en dessous du noeud mais sans faire d'ajustements correspondants pour la longueur.

3. On devrait prélever les disques-échantillons en évitant les souches de branches.

4. On devrait effectuer le pesage juste après la coupe.

5. La masse verte d'une composante d'un arbre-échantillon est la masse ramassée après la coupe sur le terrain ou au laboratoire si l'arbre ou l'arbuste est très petit.

6. Voici d'autres descriptions, normes de mesurage et codes :

   a) Âge
   Nombre de cernes annuels au point de mesurage.

   b) Diamètre (tige ou branche)
   à 0,1 cm (1 mm) près;
   par la circonférence;
   avec enregistrement d'une mesure (valeur réelle);
   en utilisant un ruban diamétrique.

   c) Diamètre (cime)
   à 0,5 m (50 cm) près;
   dans deux directions (nord-sud et est-ouest) sur la projection perpendiculaire de la cime sur le sol;
   avec enregistrement de la moyenne (valeur réelle);
   en utilisant un ruban à mesurer métallique.

   d) Classes de diamètre (D)

0,1 à 5,0 cm	code :	1
5,1 à 10,0 cm		2
10,1 à 15,0 cm		3
15,1 à 20,0 cm		4
20,1 à 25,0 cm		5
25,1 à 30,0 cm		6
30,1 à 35,0 cm		7
35,1 à 40,0 cm		8
40,1 à 45,0 cm		9
45,1 à 50,0 cm		10

   etc.
   (classes de deux centimètres sont recommandées dans le cas de plantations).

   e) Double de l'épaisseur de l'écorce
   à 0,1 cm (1 mm) près;
   dans une direction diamétrale prise au hasard (total de deux lectures);
   avec l'enregistrement du total de deux mesures (valeur réelle);
   en utilisant une sonde à écorce suédoise à 1,30 m et pour les sections non coupées;
   avec règle pour les surfaces coupées.

   f) Largeur des cernes annuels
   à 0,1 cm (1 mm) près.

   g) Hauteur totale de l'arbre (sur pied)
   à 0,1 m (10 cm) près;
   du niveau du sol à l'extrémité de la tige principale;
   avec enregistrement d'une seule mesure (valeur réelle);
   en utilisant un mesureur de hauteur Haga ou des poteaux d'aluminium.

   h) Hauteur de l'arbuste
   à 0,01 m (1 cm) près;
   du niveau du sol à l'extrémité de la tige principale;
   avec enregistrement d'une mesure (valeur réelle).

   i) Longueur de sections (incluant souche et fin bout)
   à 0,01 m (1 cm) près;
   avec enregistrement d'une mesure (valeur réelle);
   en utilisant un ruban à mesurer métallique.

k) Classes de hauteur

0,01 à 0,30 m	code : 1
0,31 à 0,80 m	2
0,81 à 1,30 m	3
1,31 à 5,0 m	4
5,01 à 10,0 m	5
10,01 à 15,0 m	6
15,01 à 20,0 m	7
20,01 à 25,0 m	8
25,01 à 30,0 m	9
30,01 à 35,0 m	10
35,01 à 40,0 m	11
etc.	

l) Classes (sociales) de cime

Dominante	Code : 1
Codominante	2
Intermédiaire	3
Dominée	4
Morte	5

m) Masse (composantes de l'arbre avant la prise d'échantillons)
à 0,1 kg (100 g) près (cependant, si la masse totale des composantes d'un arbre est inférieure à 1 kg, enregistrer à 0,001 kg [1 g] près en utilisant une balance de laboratoire);
avec un enregistrement d'une seule mesure (valeur réelle);
en utilisant une balance à tensiomètre.

n) Condition de l'arbre

vivant	Code : 1
mort	2

o) Fermeture du couvert

1 à 25 %	Code : 1
26 à 50 %	2
51 à 75 %	3
76 à 100 %	4

7. Pour la terminologie, voir l'annexe A.

8. Les feuilles de pointage et les autres formules d'enregistrement sont fournies comme exemple dans ce manuel à l'annexe E.

B. Liste de contrôle de l'équipement et des instruments suggérés pour les travaux de terrain

Formulaires, papiers, crayons
Boussole
Stéréoscope
Prisme à angle droit
Piquets (jalons)
Rubans à mesurer métalliques (30 m et 2 m)
Rubans diamétriques (avec divisions en mm)
Tarière de Pressler (25 cm et 40 cm)
Mesureur de hauteur Haga
Sonde à écorce suédoise
Compas forestier pour les diamètres de 9,1 cm
Loupe
Ruban de signalisation (plastique ou tissu)
Marqueur (à pointe de feutre pour écrire)
Tire-ligne de bois
Hache avec protecteur de lame et manches de rechange
Hache à éclaircir du type Sandvik avec lames de rechange
Scie à chaîne avec chaînes de rechange
Nécessaire d'aiguisage de chaîne
Bidons d'essence et d'huile
Extincteur pour incendies dus à l'essence
Gants
Pantalons de sécurité
Protecteurs d'oreilles pour l'usage de la scie à chaîne
Scie à archet (45 cm) avec lames de rechange
Scie à élaguer
Sécateurs
Plateforme en contreplaqué (environ 75 cm x 75 cm)
Balance à tensiomètre (à lecture directe) avec une échelle et des cordes
Bâches en polyéthylène (3 m x 3 m)
Sacs en polyéthylène (20 cm x 20 cm, et 30 cm x 50 cm)
Fils de métal pour fermer les sacs ou ruban à masquer
Poubelles en métal avec poignées
Agrafeuse et agrafes
Tablettes à pince (en métal avec une couverture)
Pelotes de ficelle (pour délimiter les périmètres de placettes, etc.)
Calculatrice de poche rechargeable
Walkie-talkie
Trousse de premiers soins

C. Définitions et normes de mesurage liées au travail de laboratoire

1. On doit sécher les échantillons dans une étuve aérée à 105°C ±3°C pendant 24 à 48 heures ou jusqu'à ce qu'on ne remarque

plus de changement dans la masse de l'échantillon.

2. La masse verte d'un échantillon est la masse recueillie au laboratoire immédiatement après l'ouverture du sac en polyéthylène.

3. La masse anhydre d'un échantillon est la masse enregistrée immédiatement après qu'on a retiré l'échantillon du dessiccateur, alors qu'il n'y a plus de changement dans la masse du matériel échantillonné.

4. La densité du bois est le rapport entre la masse d'une quantité de substance et le volume de cette quantité, exprimé en termes de masse par unité de volume (dans ce manuel, en termes de masse anhydre/volume vert, en g/cm3 à température normale d'intérieur).

5. Les échantillons verts et anhydres doivent être pesés à 0,1 g près.

6. Le diamètre et la largeur des cernes annuels sur les disques doivent être mesurés à 1 mm près.

7. Des exemples de formules d'enregistrement sont fournis à l'annexe E.

D. Liste de contrôle de l'équipement et des instruments suggérés pour les travaux de laboratoire

Formulaires, papiers, crayons
Crayon gras
Crayon à transcrire indélébile
Plateaux en aluminium ou plats en feuille d'aluminium (différentes tailles)
Serviettes en papier (qualité inférieure, brunes)
Loupe
Agrafeuse et agrafes
Sableuse (modèle à bande)
Maillet et ciseau de 3,8 cm
Étau (pour les disques de bois)
Égoïne
Couteau de poche
Couteau de chasse robuste
Réservoir d'eau et accessoires nécessaires (support métallique de laboratoire standard avec un bras métallique et des brides de serrage amovibles)
Étuve (contrôlée par thermostat et aérée)
Dessiccateurs
Gel de silice pour les dessiccateurs
Balance de précision (capacité d'au moins 4,0 kg)

ANNEXE C

Codes des essences

Codes numériques de Forêts Canada (autrefois Service canadien des forêts) pour les espèces d'arbres (établis durant les années 50)

Code	Nom commun	Nom botanique
010	Pin	*Pinus* L.
020	Pin blanc	*Pinus strobus* L.
030	Pin rouge	*Pinus resinosa* Ait.
040	Pin gris	*Pinus banksiana* Lamb.
050	Pin lodgepole	*Pinus contorta* Dougl. var. *latifolia* Engelm.
060	Pin tordu	*Pinus contorta* Dougl. var. *contorta*
070	Pin ponderosa	*Pinus ponderosa* Laws.
080	Pin argenté	*Pinus monticola* Dougl.
090	Pins variés	
091	Pin souple	*Pinus flexilis* James
092	Pin rigide	*Pinus rigida* Mill.
093	Pin albicaule	*Pinus albicaulis* Engelm.
094	Pin sylvestre	*Pinus sylvestris* L.
095	Pin noir	*Pinus nigra* Arnold
096	Pin mugo	*Pinus mugo* Turra var. *mughus* Zenari
100	Épinette	*Picea* A. Dietr.
110	Épinette noire	*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.
120	Épinette rouge	*Picea rubens* Sarg.
130	Épinette blanche	*Picea glauca* (Moench) Voss
131	Épinette de Porsild	*Picea glauca* (Moench) Voss var. *porsildii* Raup
132	Épinette de l'Alberta	*Picea glauca* (Moench) Voss var. *albertiana* (S. Brown) Sarg.
140	Épinette d'Engelmann	*Picea engelmannii* Parry
150	Épinette de Sitka	*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.
190	Épinettes variées	
191	Épinette de Norvège	*Picea abies* (L.) Karst
192	Épinette du Colorado	*Picea pungens* Engelm.
200	Sapin	*Abies* Mill.
210	Sapin baumier	*Abies balsamea* (L.) Mill.
211	Sapin phanérolépide	*Abies balsamea* (L.) Mill. var. *phanerolepis* Fern.
220	Sapin subalpin	*Abies lasiocarpa* (Hook.) Nutt.
230	Sapin grandissime	*Abies grandis* (Dougl.) Lindl.
240	Sapin gracieux	*Abies amabilis* (Dougl.) Forbes
250	Douglas taxifolié	*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco
251	Douglas bleu	*Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* (Beissn.) Franco
300	Mélèze	*Larix* Mill.
310	Mélèze laricin	*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch
311	Mélèze de l'Alaska	*Larix laricina* (Du Roi) K. Koch var. *alaskensis* (Wright) Raup
320	Mélèze subalpin	*Larix lyallii* Parl.
330	Mélèze occidental	*Larix occidentalis* Nutt.
390	Mélèzes variés	
391	Mélèze d'Europe	*Larix decidua* Mill.
392	Mélèze de Sibérie	*Larix sibirica* Ledeb.
400	Thuya	*Thuja* L.
410	Thuya occidental	*Thuja occidentalis* L.
420	Thuya géant	*Thuja plicata* Donn
430	Cyprès jaune	*Chamaecyparis nootkatensis* (D. Don) Spach
440	Genévrier rouge	*Juniperus virginiana* L.
450	Genévrier saxicole	*Juniperus scopulorum* Sarg.
500	Pruche	*Tsuga* (Endl.) Carr.
510	Pruche du Canada	*Tsuga canadensis* (L.) Carr.
520	Pruche occidentale	*Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg.
530	Pruche subalpine	*Tsuga mertensiana* (Bong.) Carr.
600	Peuplier	*Populus* L.
610	Peuplier faux-tremble	*Populus tremuloides* Michx.
620	Peuplier à grandes dents	*Populus grandidentata* Michx.
630	Peuplier baumier	*Populus balsamifera* L.
640	Peuplier deltoïde	*Populus deltoides* Bartr.
650	Peuplier de Sargent	*Populus deltoides* var. *occidentalis* Rydb.
660	Peuplier à feuilles acuminées	*Populus X acuminata* Rydb.
670	Peuplier angustifolié	*Populus angustifolia* James
680	Peuplier occidental	*Populus trichocarpa* Torr. et Gray
690	Peupliers variés	

Code	Nom commun	Nom botanique
691	Peuplier de Caroline	*Populus X canadensis* Moench
692	Peuplier argenté	*Populus alba* L.
693	Peuplier de Lombardie	*Populus nigra* L. var. *italica* Muenchh.
700	Bouleau	*Betula* L.
710	Bouleau à papier	*Betula papyrifera* Marsh.
711	Bouleau occidental	*Betula papyrifera* Marsh. var. *commutata* (Reg.) Fern.
712	Bouleau blanc de montagne	*Betula papyrifera* Marsh. var. *cordifolia* (Reg.) Fern.
713	Bouleau d'Alaska	*Betula neoalaskana* Sarg.
714	Bouleau à papier à gros fruits	*Betula papyrifera* Marsh. var. *macrostachya* Fern.
715	Bouleau pleureur	*Betula pendula* Roth
716	Bouleau à papier à feuilles subcordées	*Betula papyrifera* Marsh. var. *subcordata* (Rydb.) Sarg.
717	Bouleau à papier de Gaspé	*Betula papyrifera* Marsh. var. *elobata* (Fern.) Sarg.
720	Bouleau jaune	*Betula alleghaniensis* Britton (*Betula lutea* Michx. f.)
730	Bouleau gris	*Betula populifolia* Marsh.
790	Bouleaux variés	
791	Bouleau fontinal	*Betula occidentalis* Hook. (*Betula fontinalis* Sarg.)
792	Bouleau bleu	*Betula caerulea-grandis* Blanch.
793	Bouleau kenai	*Betula kenaica* Evans
794	Bouleau flexible	*Betula lenta* L.
800	Érable	*Acer* L.
810	Érable à sucre	*Acer saccharum* Marsh.
820	Érable rouge	*Acer rubrum* L.
830	Érable noir	*Acer nigrum* Michx. f.
840	Érable argenté	*Acer saccharinum* L.
850	Érable négondo	*Acer negundo* L.
851	Érable à Giguère pubescent	*Acer negundo* L. var. *interius* (Britt.) Sarg.
860	Érable grandifolié	*Acer macrophyllum* Pursh
890	Érables divers	
891	Érable à épis	*Acer spicatum* Lam.
892	Érable de Pennsylvanie	*Acer pensylvanicum* L.
893	Érable circiné	*Acer circinatum* Pursh
894	Érable nain	*Acer glabrum* Torr. var. *douglasii* (Hook.) Dipp.
900	Autres feuillus	
901	Aulne de la sierra	*Alnus rhombifolia* Nutt.
902	Aulne rouge	*Alnus rubra* Bong. (*Alnus oregona* Nutt.)
903	Aulne rugueux	*Alnus rugosa* (Du Roi) Spreng. (*Alnus incana* [L.] Moench)
904	Aulne à feuilles minces	*Alnus tenuifolia* Nutt.
905	Pommier odorant	*Malus coronaria* (L.) Mill.
906	Pommier du Pacifique	*Malus diversifolia* (Bong.) Roem.
907	Arbousier	*Arbutus menziesii* Pursh
908	Nerprun	*Rhamnus purshiana* DC.
909	Châtaignier d'Amérique	*Castanea dentata* (Marsh.) Borkh.
910	Frêne	*Fraxinus* L.
911	Frêne blanc	*Fraxinus americana* L.
912	Frêne noir	*Fraxinus nigra* Marsh.
913	Frêne rouge	*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.
914	Frêne d'Austin	*Fraxinus pennsylvanica* Marsh. var. *austini* Fern.
915	Frêne vert	*Fraxinus pennsylvanica* Marsh. var. *subintegerrima* (Vahl) Fern.
916	Frêne bleu	*Fraxinus quadrangulata* Michx.
917	Sorbier d'Amérique	*Sorbus americana* Marsh.
918	Sorbier monticole	*Sorbus decora* (Sarg.) Schneid.
920	Tilleul d'Amérique	*Tilia americana* L.
921	Chicot févier	*Gymnocladus dioicus* (L.) K. Koch
922	Magnolia acuminé	*Magnolia acuminata* L.
923	Cornouiller alternifolié	*Cornus alternifolia* L. f.
924	Cornouiller de Drummond	*Cornus drummondii* C.A. Meyer
925	Cornouiller fleuri	*Cornus florida* L.
926	Cornouiller de Nuttall	*Cornus nuttallii* Audubon
927	Nyssa sylvestre	*Nyssa sylvatica* Marsh.
928	Micocoulier occidental	*Celtis occidentalis* L.
929	Aubépine dorée	*Crataegus chrysocarpa* Ashe
930	Hêtre à grandes feuilles	*Fagus grandifolia* Ehrh.
931	Charme de Caroline	*Carpinus caroliniana* Walt.
932	Aubépine occidentale	*Crataegus columbiana* Howell
933	Aubépine noire	*Crataegus douglasii* Lindl.

Code	Nom commun	Nom botanique
934	Ptéléa trifolié	*Ptelea trifoliata* L.
935	Févier épineux	*Gleditsia triacanthos* L.
936	Mûrier rouge	*Morus rubra* L.
937	Asiminier trilobé	*Asimina triloba* (L.) Dunal
938	Gainier rouge	*Cercis canadensis* L.
939	Sassafras officinal	*Sassafras albidum* (Nutt.) Nees
940	Cerisier	*Prunus* L.
941	Prunier d'Amérique	*Prunus americana* Marsh.
942	Cerisier amer	*Prunus emarginata* Dougl.
943	Prunier noir	*Prunus nigra* Ait.
944	Cerisier de Pennsylvanie	*Prunus pensylvanica* L.f.
945	Cerisier tardif	*Prunus serotina* Ehrh.
946	Cerisier de Virginie	*Prunus virginiana* L.
947	Cerisier sauvage de l'Ouest	*Prunus virginiana* L. var. *demissa* (Nutt.) Torr.
948	Cerisier à fruits noirs	*Prunus virginiana* L. var. *melanocarpa* (A. Nels.) Sarg.
950	Orme	*Ulmus* L.
951	Orme d'Amérique	*Ulmus americana* L.
952	Orme rouge	*Ulmus rubra* Mühl.
953	Orme liège	*Ulmus thomasii* Sarg.
954	Amélanchier alnifolié	*Amelanchier alnifolia* (Nutt.)
955	Amélanchier arborescent	*Amelanchier arborea* (Michx.f.) Fern.
956	Amélanchier de l'Ouest	*Amelanchier florida* Lindl.
957	Amélanchier glabre	*Amelanchier laevis* Wieg.
958	Sumac vinaigrier	*Rhus typhina* L.
959	Platane occidental	*Platanus occidentalis* L.
960	Caryer	*Carya* Nutt.
961	Caryer cordiforme	*Carya cordiformis* (Wang.) K. Koch
962	Caryer glabre	*Carya glabra* (Mill.) Sweet
963	Caryer lacinié	*Carya laciniosa* (Michx.f.) Loud.
964	Caryer jaune	*Carya ovalis* (Wang.) Sarg.
965	Caryer ovale	*Carya ovata* (Mill.) K. Koch
966	Caryer à feuilles de frêne	*Carya ovata* (Mill.) K. Koch var. *fraxinifolia* Sarg.
967	Caryer tomenteux	*Carya tomentosa* Nutt.
968	Tulipier d'Amérique	*Liriodendron tulipifera* L.
970	Ostryer de Virginie	*Ostrya virginiana* (Mill.) K. Koch
971	Noyer cendré	*Juglans cinerea* L.
972	Noyer noir	*Juglans nigra* L.
978	Chêne jaune	*Quercus muehlenbergii* Engelm.
979	Chêne châtaignier	*Quercus prinus* L.
980	Chêne	*Quercus* L.
981	Chêne blanc	*Quercus alba* L.
982	Chêne bicolore	*Quercus bicolor* Willd.
983	Chêne rouge	*Quercus rubra* L.
984	Chêne écarlate	*Quercus coccinea* Muenchh.
985	Chêne noir	*Quercus velutina* Lam.
986	Chêne à gros fruits	*Quercus macrocarpa* Michx.
987	Chêne palustre	*Quercus palustris* Muenchh.
988	Chêne jack	*Quercus ellipsoidalis* E.J. Hill
989	Chêne de Garry	*Quercus garryana* Dougl.
990	Saule (toutes les espèces)	*Salix* L.

ANNEXE D

Détermination de la densité du bois

EXTRAITS DE LA PUBLICATION DE LA TAPPI[1] T18M-53, MARS 1953

Pesanteur spécifique (densité) et degré d'humidité du bois de pâte
(Ces normes sont sous la juridiction du Fibrous Materials Testing Committee)

Cette méthode est applicable aux copeaux de bois de pâte et aux disques provenant de la section transversale d'une grume.

La pesanteur spécifique est le rapport entre la masse d'une certaine quantité de substance et la masse d'un égal volume d'eau. C'est une valeur absolue et, comme il s'agit du rapport de quantités similaires, on l'exprime sans unité. La densité est le rapport entre la masse d'une certaine quantité de substance et le volume de cette quantité et, en conséquence, on l'exprime en termes de poids[2] par unité de volume.

Étant donné que le bois se gonfle ou se rétracte, respectivement, par absorption ou par perte d'eau, il est nécessaire d'exprimer la pesanteur spécifique dans des conditions déterminées de degré d'humidité et de volume. Les conditions les plus communes sont celles de poids[3] anhydre et de volume maximal (vert) ou de volume minimal (anhydre). Dans la plupart des cas, on peut s'en tenir au volume maximal. Dans la méthode décrite ici, on considère que le spécimen est gonflé à son volume maximal lorsque son degré d'humidité dépasse le point de saturation de la fibre qui se situe entre 18 et 26 % du poids (à l'état frais) pour la plupart des espèces. Les procédés à suivre pour l'obtention du volume à l'état vert ou à l'état anhydre sont décrits dans cette méthode.

Appareillage

1. Balance : une balance d'une capacité de 14 à 16 kg (30 à 35 lb) et d'une sensibilité de 0,5 g, de préférence une balance romaine (avec un balancier à poids coulissant) graduée en grammes (ou 0,001 lb).

2. Étuve : étuve maintenue à 105 ±3°C (220 ±5°F).

3. Support de disque : support approprié qui consiste en une tige de 3/16 de pouce de diamètre, 8 à 10 pouces de long, avec une extrémité fixée au centre d'un disque de laiton ou de bronze d'environ 4 pouces de diamètre et de 1/4 de pouce d'épaisseur. La face du disque située à l'opposé de la tige est munie de trois pointes de 1 pouce de long et de 1/8 de pouce de diamètre. Les pointes effilées sont équidistantes et espacées de 3 pouces. On peut varier le design du support de disque.

4. Appareillage auxiliaire : potence et brides de serrage. Des bassins et d'autres contenants pour le trempage des échantillons afin d'obtenir leur masse submergée.

---

[1]Technical Association of the Pulp and Paper Industry, 1 Dunwoody Park, Atlanta, Ga. 30338.
[2]Note de l'auteur : le terme "poids" employé ici équivaut au terme "masse" dans le manuel.
[3]Beaucoup de technologues du bois croient que la pesanteur spécifique du bois n'est vraiment exprimée que sur la base de poids anhydre et de volume maximal (vert).

Pesanteur spécifique ou densité

1. Trempage : submerger l'échantillon dans l'eau à température normale d'intérieur pendant au moins une heure, ou plus longtemps si nécessaire.

   Le but du trempage du bois est double : d'abord s'assurer que le spécimen est gonflé jusqu'à son volume vert et, en second lieu, éliminer l'erreur qui se produirait si le bois absorbait de l'eau pendant l'opération de pesage destinée à obtenir son volume. Ainsi, il est nécessaire de s'assurer que les cavités internes sont pratiquement pleines d'eau lors du trempage avant de peser, de telle sorte que l'absorption soit négligeable durant ce pesage. Lorsque le degré d'humidité est au-dessus du point de saturation de la fibre, une période de trempage d'une heure est habituellement suffisante pour que les deux conditions soient remplies; sinon, le trempage doit être prolongé jusqu'à ce que les gerces, s'il y en a, soient fermées.

2. Égouttage : faire égoutter l'eau des disques trempés en les déposant sur leur tranche pendant un instant, puis en les tapotant avec un linge ou un morceau de papier buvard juste avant le pesage. Pendant qu'ils s'égouttent, les disques ne doivent pas être exposés

à un courant d'air, à un ventilateur ou à une chaleur directe. Ceux dont les surfaces présentent des signes de dessèchement avant la fin du pesage doivent être remis dans le récipient de trempage.

3. Détermination du volume vert : pour déterminer le volume du spécimen, ce qui importe ce sont ses limites extérieures sans tenir compte des dépressions de surface. Pour cette raison, les disques doivent être coupés proprement et toutes les fissures et toutes les gerces doivent être gonflées d'eau jusqu'à ce qu'elles soient fermées.

   Le déplacement d'un liquide, habituellement de l'eau, est une des méthodes les plus sûres pour obtenir le volume d'un objet. Les procédés donnés ci-dessous peuvent être variés au niveau de l'appareillage et de l'opération. Des variantes sont permises aussi longtemps qu'elles adhèrent au principe fondamental. Deux procédés sont décrits comme la Méthode 1 (sur la balance) et la Méthode 2 (hors de la balance).

Méthode 1 (sur la balance)

Placer un récipient contenant assez d'eau à température normale d'intérieur pour immerger complètement un disque de 8 à 9 pouces de diamètre sur le plateau gauche de la balance et contrebalancer le poids du contenant et de l'eau. Garder cette tare sur le plateau pendant toutes les opérations subséquentes.

Enfoncer un disque égoutté sur les pointes du support de disque et descendre doucement ce disque dans le récipient de façon à ne pas faire de bulles d'air. Bloquer le disque de bois dans une position d'immersion complète sans qu'il touche au fond ou aux parois du récipient et le fixer au moyen de la potence et de la bride de serrage. Si les pointes ne sont pas immergées de plus de 1/2 pouce, le volume d'eau qu'elles déplacent est négligeable. Équilibrer la balance de nouveau. Le poids ajouté pour rétablir l'équilibre est la masse C du volume d'eau équivalent au volume du spécimen[1].

Note : les disques trop grands pour le contenant doivent être coupés en deux morceaux ou plus et proprement identifiés avant l'égouttage. Les opérations ci-dessus sont effectuées sur chaque morceau séparément et les masses ajoutées permettent d'obtenir la masse C du disque entier.

Retirer le disque et ajouter de l'eau jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli avant d'immerger le spécimen suivant.

---

[1]Note de l'auteur : le poids ajouté, si donné en grammes, est égal au volume du spécimen en centimètres cubes.

ANNEXE E

Formulaires à utiliser sur le terrain et au laboratoire pour enregistrer les données (exemples)

DATE :

ÉTUDE Nº NOM : FORMULE DE CODIFICATION (FORTRAN) Nº 1

DONNÉES DE TERRAIN : MESURES DE LA PLACETTE-ÉCHANTILLON ET ENREGISTREMENTS

Placette nº	Superficie (m²)	Type de forêt	Fermeture de la cime (%)	Structure	Origine	Maturité	Histoire	Classe de site	Élévation	Aspect	Position de la pente	% de la pente	Type de sol	Humidité du sol	Province	Latitude (°)(′)	Longitude (°)(′)	Arbre nº	Code d'espèce	dhpaé (cm)	Hauteur totale (m)	Âge total (ans)	Condition de l'arbre	Classe de dhpaé	Classe de hauteur [1]	Classe de cime [2]	Carte nº
207	400	1	42	1	2	3	1	2	2	42	15	3	2	45	56	77	25	1	40	142	1180	35	1				10
																		2	40	87	770	242					
																		3	40	319	1976	581					
																		4	40	224	1690	481					
																		5	40	96	1227	401					
																		6	40	176	1442	382					
																		7	40	345	2280	741					
207	25																	8	40	27	310	121					
																		9	40	32	190	111					
																		10	40	11	140	61					
																		11	40	49	650	202					
																		12	40	36	490	161					
207	4																	13	40				1			2	
																		14	610				1			1	
																		15	40				1			1	

[1] Seulement pour les arbres dont il faut mesurer la hauteur et ceux dont il faut faire un échantillonnage de la masse et les arbustes.

[2] Seulement pour les cinq types d'arbres en âge d'être mesurés.

ÉTUDE Nº DATE :

NOM :

FORMULE DE CODIFICATION (FORTRAN) Nº 2

DONNÉES DE TERRAIN : MESURES DE BASE POUR CALCULER LA MASSE ET LE VOLUME DES ARBRES-ÉCHANTILLONS

Placette nº	Arbre nº	Code d'espèce	dhpaé (cm)	Hp (cm)	Âge total (ans)	Hauteur totale (m)	Hauteur marchande (m)	Hauteur jusqu'à la première branche vivante (m)	Hauteur de la souche (m)	Diamètre de la cime (m)	Niveau du sol daé (cm)	Niveau du sol déé (cm)	Hauteur de souche daé (cm)	Hauteur de souche déé (cm)	Hauteur : 0,80 m daé (cm)	Hauteur : 0,80 m déé (cm)	Hauteur marchande daé (cm)	Hauteur marchande déé (cm)	Base de branches vivantes daé (cm)	Base de branches vivantes déé (cm)	Condition de l'arbre	Classe de dhpaé	Classe de hauteur	Classe de cime		Carte nº
1 2 3	4 5 6	7 8 9	10 11 12 13	14 15 16	17 18 19	20 21 22 23	24 25 26 27	28 29 30 31	32 33 34	35 36 37	38 39 40 41	42 43 44	45 46 47 48	49 50 51	52 53 54 55	56 57 58	59 60 61	62 63 64	65 66 67	68 69 70	71	72	73 74 75	76	77 78	79 80
207	3	40	319	22	58	1976	16	1075	30	50	411	42	391	36	355	29	91	7	225	11	1					20
207	5	40	96	8	40	1227	17	782	30	25	140	20	122	17	107	12			66	5	1					
207	9	40	32	2	11	190		85	30	6	67	5	58	4	45	3			43	3	1					
207	10	40	11	2	6	140		65	30	5	43	3	34	3	22	2			26	2	1					
207	6	40	176		38	1442					241		210		193						2					
207	11	40	49	3	20	650					74	6	65	5	57						2					

ÉTUDE N° DATE :

NOM :

FORMULE DE CODIFICATION (FORTRAN) N° 3

DONNÉES DE TERRAIN : MESURES DE DIAMÈTRE SUR LES SECTIONS DE 2 m[1]

Placette n°	Arbre n°	Code d'espèce	Nombre de sections de 2 m	Diamètre avec écorce à : 2 m (cm)	4 m (cm)	6 m (cm)	8 m (cm)	10 m (cm)	12 m (cm)	14 m (cm)	16 m (cm)	18 m (cm)	20m (cm)	22 m (cm)	24 m (cm)	26 m (cm)	28 m (cm)	30 m (cm)	32 m (cm)	34 m (cm)	36 m (cm)	38 m (cm)	40 m (cm)		Carte n°
1 2 3	4 5 6	7 8 9	10 11 12	13 14 15 16	17 18 19 20	21 22 23 24	25 26 27	28 29 30	31 32 33	34 35 36	37 38 39	40 41 42	43 44 45	46 47 48	49 50 51	52 53 54	55 56 57	58 59 60	61 62 63	64 65 66	67 68 69	70 71 72	73 74 75	76 77 78	79 80
207	3	40	9	307	288	258	233	207	186	131	74	32													30
207	5	40	6	92	85	77	64	42	15																

[1] Seulement pour les arbres dont le diamètre est supérieur ou égal à 5,1 cm.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80

ÉTUDE Nº DATE :
NOM :

FORMULE DE CODIFICATION (FORTRAN) Nº 4

DONNÉES DE TERRAIN : MESURES DE L'ÉCORCE POUR LES SECTIONS DE 2 m[1]

Placette nº	Arbre nº	Code d'espèce	Nombre de sections de 2 m	Double de l'épaisseur de l'écorce à : 2 m (cm)	4 m (cm)	6 m (cm)	8 m (cm)	10 m (cm)	12 m (cm)	14 m (cm)	16 m (cm)	18 m (cm)	20 m (cm)	22 m (cm)	24 m (cm)	26 m (cm)	28 m (cm)	30 m (cm)	32 m (cm)	34 m (cm)	36 m (cm)	38 m (cm)	40 m (cm)		Carte nº
				13 14 15	16 17 18	19 20 21	22 23 24	25 26 27	28 29 30	31 32 33	34 35 36	37 38 39	40 41 42	43 44 45	46 47 48	49 50 51	52 53 54	55 56 57	58 59 60	61 62 63	64 65 66	67 68 69	70 71 72	73 74 75 76 77 78	79 80	
207	3	40	9	20	19	17	16	11	10	8	7	4													4 0
207	5	40	6	7	6	5	5	3	1																

1 Seulement pour les arbres dont le diamètre est supérieur ou égal à 5,1 cm.

DATE :

ÉTUDE Nº NOM :

FORMULE DE CODIFICATION (FORTRAN) Nº 5

DONNÉES DE TERRAIN : MESURES DE LA MASSE VERTE

Placette nº	Arbre nº	Code d'espèce	Brindilles et feuilles (kg)	Grandes[1] branches vivantes (kg)	Petites[1] branches vivantes (kg)	Branches[1] mortes (kg)	Nouveaux cônes (kg)	Vieux cônes (kg)	Sections de la tige[1] 1/3 inférieur[2] (kg)	Milieu (kg)	1/3 supérieur (kg)	Cime (kg)	Carte nº
207	3	40	63900	20000	64200	40700	500	300	280900	207900	99500	6400	50
207	5	40	4800		2300	2800			48300				
207	9	40	60		350	40			1500				
207	6	40							80100				
207	11	40							3100				

1 excluant l'écorce.

2 Masse totale pour toute la tige de l'arbre (sauf la souche) s'il n'y a pas de fût marchand, ou masse totale pour l'arbre entier si l'arbre est mort.

DATE :

ÉTUDE Nº NOM : FORMULE DE CODIFICATION (FORTRAN) Nº 6

DONNÉES DE LABORATOIRE : MESURE DE LA MASSE DE BRINDILLES, FEUILLES ET BRANCHES SUR LES ÉCHANTILLONS

Placette nº	Arbre nº	Code d'espèce	Brindilles[1]		Feuilles		Grandes branches vivantes				Petites branches vivantes				Branches mortes		Nouveaux cônes		Vieux cônes		Carte nº
							Bois		Écorce		Bois		Écorce								
			MV (g)	MA (g)	MV (g)	MA (g)	MV (g)	MA (g)	MV (g)	MA (g)	MV (g)	MA (g)	MV (g)	MA (g)	MV (g)	MA (g)	MV (g)	MA (g)	MV (g)	MA (g)	
207	3	40	537	259	495	240	750	310	84	36	788	328	87	36	1482	936	915	302	557	481	60
207	5	40	549	250	507	230					284	134	31	15	646	434					
207	9	40	195	92	144	53					566	258	206	87	122	65					
207	10	40	155	90																	

[1] Masse totale pour les plants de hauteur inférieure ou égale à 1,30 m.

DATE :

ÉTUDE Nº NOM : FORMULE DE CODIFICATION (FORTRAN) Nº 7

DONNÉES DE LABORATOIRE : MESURES DE DISQUES DE TIGE SUR LES ÉCHANTILLONS

Placette nº	Arbre nº	Code d'espèce	Nombre de disques de tige	Bois MV (g)	Bois MA (g)	Écorce MV (g)	Écorce MA (g)	Bois des quartiers Volume (cm³)	Bois des quartiers MA (g)	Nombre de cernes annuels	Diamètre moyen[1] (cm)	dée[2] (cm)	Largeur de 10 cernes annuels (cm)	Condition de l'arbre	Carte nº
207	3	40	4	20236	8217	1378	797	2983	1010	48	319	22	32		1 1
207	3	40		20464	8520	1198	662	2306	742	43	272	18	30		2
207	3	40		13096	6412	861	439	1295	617	36	210	11	27		3
207	3	40		1343	438	175	69	512	165	17	91	7	25		4
207	5	40	2	1234	542	103	48	402	152	30	96	8	14		1
207	5	40		685	251	97	42	270	90	21	75	5	12		2
207	9	40	2	104	61	14	7	102	38	6	32	2	25		1
207	9	40		182	84	25	11	148	66	8	40	3	26		2
207	6	40	2	1865	1044										1
207	6	40		823	496										2
207	11	40	2	120	60						49	3			1
207	11	40		37	32						32	2			2

Indiquez le numéro du disque dans la colonne 80 ▲

[1] Le diamètre sous écorce du premier et du quatrième disques est le même que le dhpé et à la hauteur marchande, respectivement.

[2] Le double de l'épaisseur de l'écorce du premier et du quatrième disques est le même que le double de l'épaisseur de l'écorce à hauteur de poitrine et à la hauteur marchande, respectivement.

FORMULE Nº 8 : INFORMATIONS SOMMAIRES SUR LES ARBRES-ÉCHANTILLONS

ESPÈCES: 40

Classe de diamètre: 0.1 à 5 cm		
Placette nº / Arbre nº	dhpaé (cm)	h (m)
207 / 9	3.2	1.90
10	1.1	1.40

Classe de diamètre: 5.1 à 10 cm		
Placette nº / Arbre nº	dhpae (cm)	h (m)
207 / 5	9.6	12.27

Classe de diamètre: 10.1 à 15 cm		
Placette nº / Arbre nº	dhpaé (cm)	h (m)

Classe de diamètre: 15.1 à 20 cm		
Placette nº / Arbre nº	dhpae (cm)	h (m)

Classe de diamètre: 20.1 à 25 cm		
Placette nº / Arbre nº	dhpaé (cm)	h (m)

Classe de diamètre: 25.1 cm et plus		
Placette nº / Arbre nº	dhpae (cm)	h (m)
207 / 3	31.9	19.76

ANNEXE F

Références aux équations de biomasse construites dans le cadre de l'ENFOR

Essence	Composante de biomasse*					Emplacement	Source
Aulne					5	Prairies	Peterson et al. (1982)
Aulne rouge	1	2		4		Colombie-Britannique	Standish et al. (1985)
Bouleau à papier	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1981)
	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1984b)
	1	2	3	4	5	Terre-Neuve	Anon. (1982)
			3	4	5	Nouvelle-Écosse	Freedman et al. (1982)
	1	2	3		5	Nouvelle-Écosse	Ker (1980a)
	1		3	4	5	Maritimes	Ker (1984)
	1	2	3	4	5	Terre-Neuve	Lavigne (1982)
			3	4	5	Terre-Neuve	Lavigne & Nostrand (1981)
	1	2	3	4	5	Yukon	Manning et al. (1984)
					5	Québec	Ouellet (1983b)
					5	Prairies	Peterson et al. (1982)
Bouleau à papier	1	2				Prairies	Singh (1982)
	1	2		4	5	Colombie-Britannique	Standish et al. (1985)
Bouleau gris	1	2	3		5	Nouvelle-Écosse	Ker (1980a)
Bouleau jaune	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1984b)
	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag & Horton (1981)
			3	4	5	Nouvelle-Écosse	Freedman et al. (1982)
	1	2	3	4	5	Nouveau-Brunswick	Ker (1980b)
	1	2	3	4	5	Terre-Neuve	Lavigne (1982)
					5	Québec	Ouellet (1983b)
	1	2		4	5	Ontario	Thomas (1981)
Caryer	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1984b)
Cerisier tardif	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1984b)
Chêne blanc	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1984b)
Chêne rouge	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1981b)
	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1984b)
Douglas taxifolié	1	2		4	5	Colombie-Britannique	Standish et al. (1985)
Douglas taxifolié	1	2		4	5	Colombie-Britannique	Standish et al. (1985)
	1	2		4	5	Ontario	Thomas (1981)
Épinette blanche	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1983)
	1	2	3	4	5	Terre-Neuve	Anon. (1982)
	1	2				Canada	Evert (1985)
	1	2	3	4	5	Nouvelle-Écosse	Freedman et al. (1982)
	1	2	3		5	Nouvelle-Écosse	Ker (1980a)
	1		3	4	5	Maritimes	Ker (1984)
	1	2	3	4	5	Terre-Neuve	Lavigne (1982)
			3	4	5	Terre-Neuve	Lavigne & Nostrand (1981)
					5	Québec	Ouellet (1983b)
	1	2				Prairies	Singh (1982)
	1	2				Territoires du Nord-Ouest	Singh (1984b)
	1	2		4	5	Colombie-Britannique	Standish et al. (1985)
Épinette de Sitka	1	2		4	5	Colombie-Britannique	Standish et al. (1985)
Épinette noire	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1983)
	1	2	3	4	5	Terre-Neuve	Anon. (1982)
	1	2				Canada	Evert (1985)
	1	2	3	4	5	Nouvelle-Écosse	Freedman et al. (1982)
	1	2	3	4	5	Nouvelle-Écosse	Ker (1980a)
	1	2	3	4	5	Terre-Neuve	Lavigne (1982)
			3	4	5	Terre-Neuve	Lavigne & Nostrand (1981)
	1	2	3	4	5	Yukon	Manning et al. (1984)
Épinette noire	1	2			5	Québec	Ouellet (1983a)
	1	2				Prairies	Singh (1982)
	1	2				Territoires du Nord-Ouest	Singh (1984b)
	1	2		4	5	Colombie-Britannique	Standish et al. (1985)
Épinette rouge	1	2	3	4	5	Nouvelle-Écosse	Freedman et al. (1982)
					5	Québec	Ouellet (1983b)
Épinette rouge/noire	1		3	4	5	Maritimes	Ker (1984)
Érable argenté	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1984b)
Érable à sucre	1	2		4	5	Ontario	Thomas (1981)
Érable à sucre	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1981)
	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1984b)
			3	4	5	Nouvelle-Écosse	Freedman et al. (1982)
	1	2	3	4	5	Nouveau-Brunswick	Ker (1980b)

Essence	Composante de biomasse*					Emplacement	Source
Érable rouge	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1981)
	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1984b)
			3	4	5	Nouvelle-Écosse	Freedman et al. (1982)
	1	2	3		5	Nouvelle-Écosse	Ker (1980a)
	1		3	4	5	Maritimes	Ker (1984)
Érable rouge/à sucre					5	Québec	Ouellet (1983b)
Feuillus	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1984b)
Frêne blanc	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1984b)
	1	2	3	4	5	Nouveau-Brunswick	Ker (1980b)
Frêne noir	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1984b)
Frêne rouge	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1984b)
Genévrier rouge	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1983)
Hêtre à grandes feuilles	1	2	3	4	5	Nouveau-Brunswick	Ker (1980b)
Hêtre américain	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1984b)
Mélèze laricin	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1983)
	1	2	3	4	5	Terre-Neuve	Anon. (1982)
	1	2	3		5	Nouvelle-Écosse	Ker (1980a)
	1	2	3	4	5	Terre-Neuve	Lavigne (1982)
			3	4	5	Terre-Neuve	Lavigne & Nostrand (1981)
					5	Québec	Ouellet (1983b)
	1	2				Prairies	Singh (1982)
	1	2				Territoires du Nord-Ouest	Singh (1984b)
Mélèze occidental	1	2		4	5	Colombie-Britannique	Standish et al. (1985)
Orme d'Amérique	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1984b)
Ostryer de Virginie	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1981)
	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1984b)
Peuplier à grandes dents	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1984b)
	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag & Horton (1981)
			3	4	5	Nouvelle-Écosse	Fredman et al. (1982)
	1	2	3	4	5	Ontario	Horton (1981b)
Peuplier baumier					5	Ouest du Canada	Bella & Franceschi (1980)
	1	2	3	4	5	Ontario	Horton (1981b)
					5	Prairies	Peterson et al. (1982)
	1	2				Prairies	Singh (1982)
	1	2				Territoires du Nord-Ouest	Singh (1984b)
	1	2		4	5	Ontario	Thomas (1981)
Peuplier faux-tremble	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1981)
	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1984b)
	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag & Horton (1981)
	1	2	3	4	5	Terre-Neuve	Anon. (1982)
					5	Ouest du Canada	Bella & Franceschi (1980)
	1				5	Canada	Evert (1983)
	2	2				Canada	Evert (1985)
			3	4	5	Nouvelle-Écosse	Freedman et al. (1982)
	1				5	Ontario	Horton (1981a)
	1	2	3		5	Nouvelle-Écosse	Ker (1980a)
	1		3	4	5	Maritimes	Ker (1984)
	1	2	3	4	5	Terre-Neuve	Lavigne (1982)
			3	4	5	Terre-Neuve	Lavigne & Nostrand (1981)
	1	2	3	4	5	Yukon	Manning et al. (1984)
					5	Prairies	Peterson et al. (1982)
					5	Québec	Ouellet (1983b)
	1	2				Prairies	Singh (1982)
	1	2				Territoires du Nord-Ouest	Singh (1984b)
	1	2		4	5	Colombie-Britannique	Standish et al. (1985)
Peuplier occidental	1	2		4	5	Colombie-Britannique	Standish et al. (1985)
Pin argenté	1	2		4	5	Colombie-Britannique	Standish et al. (1985)
Pin blanc	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1983)
	1	2	3	4	5	Nouveau-Brunswick	Ker (1980b)
					5	Québec	Ouellet (1983b)
Pin de montagne	1	2		4	5	Colombie-Britannique	Standish et al. (1985)
Pin gris	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1983)
	1	2	3		5	Nouvelle-Écosse	Ker (1980a)
	1		3	4	5	Maritimes	Ker (1984)
					5	Québec	Ouellet (1983b)

Essence	Composante de biomasse*					Emplacement	Source
	1	2				Prairies	Singh (1982)
	1	2				Territoires du Nord-Ouest	Singh (1984b)
Pin ponderosa	1	2		4	5	Colombie-Britannique	Standish et al. (1985)
Pin rouge	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1983)
	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag & Stiell (1982)
	1	2	3		5	Nouvelle-Écosse	Ker (1980a)
					5	Québec	Ouellet (1983b)
Pin tordu	1	2	3	4	5	Yukon	Manning et al. (1984)
					5	Prairies	Peterson et al. (1982)
	1	2				Prairies	Singh (1982)
	1	2		4	5	Colombie-Britannique	Standish et al. (1985)
Pin tordu	1	2		4	5	Colombie-Britannique	Standish et al. (1985)
Pruche du Canada	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1983)
	1	2	3	4	5	Nouveau-Brunswick	Ker (1980b)
Pruche occidentale	1	2		4	5	Colombie-Britannique	Standish et al. (1985)
Résineux	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1983)
Sapin baumier	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1983)
	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1984b)
	1	2	3	4	5	Terre-Neuve	Anon. (1982)
	1	2	3	4	5	Nouvelle-Écosse	Freedman et al. (1982)
	1	2	3		5	Nouvelle-Écosse	Ker (1980a)
	1		3	4	5	Maritimes	Ker (1984)
	1	2	3	4	5	Terre-Neuve	Lavigne (1982)
			3	4	5	Terre-Neuve	Lavigne & Nostrand (1981)
					5	Québec	Ouellet (1983b)
	1	2				Prairies	Singh (1982)
Sapin gracieux	1	2		4	5	Colombie-Britannique	Standish et al. (1985)
Sapin gradissime	1	2		4	5	Colombie-Britannique	Standish et al. (1985)
Sapin subalpin	1	2				Prairies	Singh (1982)
Sapin subalpin	1	2		4	5	Colombie-Britannique	Standish et al. (1985)
Saule					5	Prairies	Peterson et al. (1982)
Thuya géant	1	2		4	5	Colombie-Britannique	Standish et al. (1985)
Thuya occidental	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1983)
	1	2	3	4	5	Nouveau-Brunswick	Ker (1980b)
Tilleul d'Amérique	1	2	3	4	5	Ontario	Alemdag (1984b)

*1 = bois de la tige
2 = écorce de la tige
3 = branches vivantes
4 = rameaux et feuilles (feuillage)
5 = arbre entier